

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas

**PROCESSAMENTO DA CAMA DE AVIÁRIO E
SUAS IMPLICAÇÕES NOS AGROECOSSISTEMAS**

Leandro Hahn

Florianópolis, SC, maio de 2004.

LEANDRO HAHN

Engenheiro Agrônomo

**PROCESSAMENTO DA CAMA DE AVIÁRIO E SUAS
IMPLICAÇÕES NOS AGROECOSSISTEMAS**

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre
em Agroecossistemas, Curso de Pós-
graduação em Agroecossistemas,
Centro de Ciências Agrárias,
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Profa. Dr. Marília Terezinha Sangoi Padilha
Co-orientador: Prof. Dr. Anicleto Poli

Florianópolis, SC, maio de 2004.

FICHA CATALOGRÁFICA

HAHN, Leandro

Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas/Leandro Hahn. – Florianópolis, 2004.
130f.

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina.

1. Poluição ambiental. 2. Salinomicina. 3. Patógenos. 4. Resíduo orgânico. I. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

LEANDRO HAHN

PROCESSAMENTO DA CAMA DE AVIÁRIO E SUAS IMPLICAÇÕES NOS AGROECOSSISTEMAS

Dissertação aprovada em 31/05/2004, como um dos requisitos para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, pela seguinte banca examinadora:

Marília Terezinha Sangoi Padilha
Orientadora

Anicleto Poli
Co-orientador

José Carlos Fiad Padilha
Presidente (CCA/UFSC)

Darci Odílio Paul Trebein
Membro (CCA/UFSC)

Anicleto Poli
Membro (CCB/UFSC)

Hamilton Justino Vieira
Membro (CLIMERH/EPAGRI)

Renato Irgang
Membro (CCA/UFSC)

Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho
Coordenador PPGAGR

Florianópolis, SC, maio de 2004.

*Dedico esta dissertação à minha família - meus pais Roque e Lúcia, e as
minhas irmãs, Marlecí e Carlise.*

*“Me perguntaram como eu vivia, me perguntaram.
Sobrevivendo, eu disse. Sobrevivendo.
Tenho um poema escrito mais de mil vezes,
nele eu repito sempre que enquanto alguém propõe a morte sobre esta
terra, e alguém fabrique armas e financie guerras, eu cruzarei os
campos, sobrevivendo.
Sobrevivendo, sobrevivendo...
Todos frente ao perigo, sobrevivendo
Tristes errantes homens, sobrevivendo.
Sobrevivendo, sobrevivendo...
Faz tempo que eu não sorrio faz muito tempo.
E pensar que eu sorria o tempo todo.
Tenho boa memória e me fero muito ainda, eu sei não vou esquecer
jamais Hiroshima.
Quanta tragédia, sobre esta terra. Hoje eu quero sorrir, quase não
posso. Ficou mais escuro o mundo e suas estrelas
Eu não quero ser mais um sobrevivente, eu quero escolher o dia da
minha morte. Tenho a carne jovem, vermelho o sangue, a dentadura
boa e o esperma urgente. Quero outra vida para minha semente.
Não quero ver um dia manifestarem-se pela paz deste mundo os
animais. Que loucura seria o dia, a fauna manifestando-se pela vida.
E nós, inteligentes, sobrevivendo.
Sobrevivendo, sobrevivendo...”*

DANTE RAMON LEDESMA

AGRADECIMENTOS

Ao fazermos agradecimentos, naturalmente estamos propensos a esquecer alguém. Porém, a vontade que temos de lembrar e agradecer, principalmente quando tantos *conspiraram* para que esse trabalho pudesse ser realizado, é muito maior.

Ao sofrido povo brasileiro que através da Universidade Federal de Santa Catarina e do CNPq me deram condições e a bolsa de estudos para realizar o mestrado.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agroecossistemas e em especial aos professores que me fizeram *enxergar mais e melhor*.

À minha orientadora Prof. Dr. Marília T. S. Padilha pela dedicação e inúmeras horas de grande alegria e amizade compartilhadas nestes últimos anos.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Anicleto Poli pela paciência em revelar a um agrônomo os mistérios da cromatografia. Obrigado também pela amizade e dedicação.

Aos Profs. Drs. Ana Rita R. Vieira e Darci O.P. Trebien pelo auxílio na condução do experimento e na discussão dos resultados.

À Frangos Macedo Koerich S.A., em especial ao Médico Veterinário Augusto Rossi, pela cooperação na cessão da cama de aviário e estrutura física para condução da parte a campo e análises microbiológicas.

Ao CLIMERH/EPAGRI, em especial ao seu Diretor Dr. Hamilton J. Vieira, pela cessão dos sensores e colaboração na coleta de dados de temperatura.

À Prof. Dr. Marení Rocha Farias pela disposição do Cromatógrafo do Laboratório de Farmacognosia do Depto de Ciências Farmacêuticas/CCS/UFSC.

Ao Prof. Dr. Germano Nunes pela cessão da estrutura do Laboratório de Microbiologia do Solo do Depto de Microbiologia e Parasitologia/CCB/UFSC e à Agrônoma Elza Mendonza pela cooperação na análise microbiológica.

Ao Prof. Antônio Carlos M. da Rosa pelas frutíferas discussões.

À Phibro Saúde Animal Internacional Ltda, em especial ao Sr. César Lopes pelo fornecimento do padrão de salinomicina sódica.

À Alharma, especialmente ao Sr. Marco Antônio pela disponibilização do padrão de lasalocida sódica.

Ao laboratorista Francisco Wagner do Laboratório de Solos do CCA pela ajuda nas análises químicas.

Aos estudantes Gerson Schrank da graduação em Agronomia e Rachel Borges da graduação em Farmácia no auxílio das análises e companheirismo.

Aos colegas estudantes da turma 2002, que estiveram juntos navegando no mesmo barco, enfrentando fortes tempestades no alto mar, mas todos ajudando a remar para que pudéssemos pisar em terra firme. Em especial ao Júlio, Alexandre, Sérgio, Elder, Ramona, Ellen, Brigitte, Giuliano e Natasha pela amizade e companheirismo nestes dois anos.

Aos membros da Banca Examinadora: Prof. Dr. José C. F. Padilha, Prof. Dr. Anicleto Poli, Prof. Dr. Renato Irgang, Prof. Dr. Darci O.P. Trebien e Dr. Hamilton J. Vieira pela disposição em avaliar este trabalho.

Aos meus pais Roque e Lúcia, orientadores exemplares, e que me infundiram com a dádiva que me faz estar aqui - *a vida*. As minhas irmãs Marlecí e Carlise, últimas nesta lista, mas primeiramente lembrados em todos os momentos de minha vida.

ÍNDICE

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DAS ABREVIATURAS E SIGLAS MAIS USADAS

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO 16

CAPÍTULO I – CONTEXTUALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E USO DA CAMA DE AVIÁRIO 20

1.1 A PRODUÇÃO AVÍCOLA E DE CAMA DE AVIÁRIO 20

1.2 USOS DA CAMA DE AVIÁRIO 22

1.3 PROBLEMAS ASSOCIADOS À CAMA DE AVIÁRIO COMO FERTILIZANTE... 25

1.3.1. POLUIÇÃO POR NUTRIENTES 25

1.3.2 DISSEMINAÇÃO DE MICROORGANISMOS PATOGÊNICOS..... 35

1.3.3 POLUENTES QUÍMICOS..... 41

1.4 REDUÇÃO DO POTENCIAL POLUIDOR DA CAMA DE AVIÁRIO..... 48

1.4.1 A DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO 52

1.4.1.1 Redução/eliminação de patógenos na decomposição..... 58

1.4.1.2 Redução/eliminação das perdas de elementos durante a decomposição 59

CAPÍTULO II – ESTUDO DE PROCESSOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO 67

2.1 HIPÓTESE 67

2.2 OBJETIVOS 68

2.2.1 OBJETIVO GERAL 68

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 68

2.3 MATERIAL E MÉTODOS..... 69

2.3.1 ETAPA A CAMPO..... 69

2.3.1.1 Tratamentos	71
2.3.1.2 Coleta das Amostras	71
2.3.1.3 Evolução das temperaturas	72
2.3.2 <i>ETAPA EM LABORATÓRIO</i>	72
2.3.2.1 Parâmetros Físicos	72
2.3.2.1.1 Umidade	72
2.3.2.2 Parâmetros Químicos	72
2.3.2.2.1 Carbono Orgânico Total	73
2.3.2.2.2 Nitrogênio Total	73
2.3.2.2.3 pH	73
2.3.2.3 Concentração de Salinomicina	73
2.3.2.3.1 Instrumental utilizado	74
2.3.2.3.2. Padrões da droga, reagentes e soluções	75
2.3.2.3.3. Condições Cromatográficas	76
2.3.2.3.4. Procedimentos	76
2.3.2.3.5. Validação do Método Analítico	78
2.3.2.4 Parâmetros Microbiológicos	79
2.3.2.4.1. Contagem de <i>Escherichia coli</i>	79
2.3.2.4.2 Contagem de Oocistos de Eimérias	80
2.3.2.4.3 Contagem de <i>Salmonella</i>	80
2.3.2.5 Análise Estatística dos Dados	80
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	82
2.3.1 <i>RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA</i>	82
2.3.2 <i>PARÂMETROS FÍSICOS</i>	83
2.3.3 <i>PARÂMETROS QUÍMICOS</i>	92
2.3.4 <i>ANÁLISE DE SALINOMICINA NA CAMA DE AVIÁRIO</i>	100
2.3.4.1 Concentração de Salinomicina na cama de aviário	105
2.3.4 <i>PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS</i>	108
2.4 CONCLUSÕES	113
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	114
REFERÊNCIAS	118
ANEXOS	130

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** - ESTRUTURA QUÍMICA DA SALINOMICINA SÓDICA. 47
- FIGURA 2** - CROQUI DO EXPERIMENTO. 70
- FIGURA 3** - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE CLAE USADO PARA ANÁLISE DE SALINOMICINA SÓDICA. 75
- FIGURA 4** - ESQUEMA DA METODOLOGIA UTILIZADA NA CONTAGEM DE *Escherichia coli*. 81
- FIGURA 5** - TEMPERATURAS MÉDIA DIÁRIA DO AR, 10 E 50 cm DE PROFUNDIDADE DE PILHAS DE CAMA DE AVIÁRIO, PARA CADA TRATAMENTO. 85
- FIGURA 6** - DIFERENÇA ENTRE A TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR E A TEMPERATURA A 10, 50 cm E MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DE PILHAS DE CAMA DE AVIÁRIO, PARA CADA TRATAMENTO. 87
- FIGURA 7** - EVOLUÇÃO DAS MÉDIAS DE MATÉRIA SECA ENTRE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO. 88
- FIGURA 8** - DADOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SÃO JOSÉ/SC. 90
- FIGURA 9** - DIFERENÇA ENTRE AS TEMPERATURAS A 50 e 10 cm DE PROFUNDIDADE DE PILHAS DE CAMA DE AVIÁRIO SUBMETIDA A TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO. 91
- FIGURA 10** - EVOLUÇÃO DE pH, NITROGÊNIO E CARBONO ENTRE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO. 93
- FIGURA 11** - EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO (C/N) DE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DE CAMA DE 97

AVIÁRIO.

FIGURA 12 - CROMATOGRAMAS OBTIDOS POR CLAE NA ANÁLISE DE SALINOMICINA EM CAMA DE AVIÁRIO. 101

FIGURA 13 - CURVA DE CALIBRAÇÃO (MÉDIA \pm DESVIO PADRÃO) OBTIDA POR CLAE NA ANÁLISE DE SALINOMICINA EM CAMA DE AVIÁRIO. 103

FIGURA 14 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SALINOMICINA (ppm) EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DE CAMA DE AVIÁRIO. 107

FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL DE *Escherichia coli* POR GRAMA DE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO. 109

FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE OOCISTOS DE EIMÉRIAS/GRAMA EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO. 112

FIGURA 17 - IMAGENS DA PARTE EXPERIMENTAL A CAMPO. 130

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO SEGUNDO DIFERENTES FONTES.	28
TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA.	83
TABELA 3 - EVOLUÇÃO DOS VALORES DE MATÉRIA SECA EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.	89
TABELA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURAS NAS PROFUNDIDADES DE 10 E 50 cm EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.	90
TABELA 5 - EVOLUÇÃO DOS VALORES DE pH E DAS CONCENTRAÇÕES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.	94
TABELA 6 - RESULTADOS DO INTRA-ENSAIO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA SALINOMICINA POR CLAE.	104
TABELA 7 - RESULTADOS DO INTER-ENSAIO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA SALINOMICINA POR CLAE.	105
TABELA 8 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SALINOMICINA (ppm) EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.	106

LISTA DAS ABREVIATURAS E SIGLAS MAIS USADAS

AUFS - Absorbance Unit Full Scale (escala inteira de unidades de absorbância)

C – Carbono

CLAE - Cromatografia Líquida de Alta Eficiência.

Cu – Cobre

DP – Desvio padrão

g – Grama

ICEPA – Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina

K – Potássio

kg – Quilograma

mg/l – Miligramas por litro

mM - milimolar

Mohm.cm – Mega Ohm x centímetro

N –Nitrogênio

NH₃ – Amônia

NH₄⁺ - Amônio

nm - nanômetro

NO₃⁻ – Nitrato

NQ – Não Quantificável (abaixo do limite de quantificação)

P – Fósforo

r – Coeficiente de regressão linear

Zn – Zinco

mV . s – Micro volts x segundo

µg/kg – microgramas por quilograma

RESUMO

PROCESSAMENTO DA CAMA DE AVIÁRIO E SUAS IMPLICAÇÕES NOS AGROECOSSISTEMAS

Autor: Leandro Hahn

Orientadora: Profa. Dr. Marília Terezinha Sangoi Padilha

Co-orientador: Prof. Dr. Anicleto Poli

A produção avícola intensiva é uma atividade de grande importância para o Brasil e para Santa Catarina, onde está concentrada em algumas regiões. Este sistema de produção gera uma significativa quantidade de resíduos, onde se destaca a cama de aviário. Com a tendência de aumento desta atividade, aumentará ainda mais a produção deste resíduo. A alta concentração de cama de aviário em algumas regiões, onde o solo e a extração dos nutrientes pelas culturas não estão sendo mais suficientes para reciclá-lo, está causando a contaminação por nutrientes, microorganismos patogênicos e resíduos de produtos químicos, com repercussões econômicas na saúde pública e no ambiente. Para minimizar estes impactos, os agricultores têm sido estimulados a fazer a decomposição da cama de aviário antes de sua aplicação como fertilizante. Existem ainda muitas dúvidas sobre a eficiência deste tratamento na diminuição do potencial poluidor deste resíduo. O objetivo deste trabalho foi estudar os principais aspectos inerentes à produção, processamento e uso da cama de aviário. Foi realizado também um experimento para comparar tipos de decomposição deste resíduo. Os três processos (tratamentos) usados foram: Tratamento CSC (cama de aviário com camadas de solo e coberto com capim) CP (cama de aviário coberta com polietileno) e CCC (cama de aviário com camadas de capim e coberto com capim). Amostras foram coletadas semanalmente no primeiro mês e mensalmente até o final do experimento aos 180 dias. Acompanhou-se a evolução da temperatura das pilhas, umidade, pH, teor de carbono, nitrogênio, nível de *Escherichia coli*, *Salmonella*, oocistos de eimérias e concentrações do antibiótico salinomicina. Os resultados mostram que, dependendo do tipo de tratamento de decomposição adotado, pode-se interferir no potencial de contaminação ambiental da cama de aviário. O uso do processo de decomposição usualmente adotado pelos agricultores (tratamento CP) apresenta menores perdas de carbono e nitrogênio, entretanto é menos eficiente na degradação do antibiótico salinomicina. A adição do capim e o seu uso como cobertura mantém uma temperatura mais elevada durante a decomposição e, com o passar do tempo, permite uma maior infiltração de água que acarreta perdas posteriores de carbono. A decomposição da cama de aviário, independente dos tratamentos, é eficiente no controle de *Escherichia coli*, porém os tipos de decomposição não interferem na redução do número de oocistos de eimérias. A adaptação da técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) para a determinação de salinomicina em cama de aviário se apresentou de simples execução, foi suficientemente sensível, específica e reprodutível. Apesar do processo de decomposição diminuir o potencial contaminante da cama de aviário, é uma medida isolada e insuficiente. A produção da cama de aviário está ligada ao processo produtivo como um todo, e este deve passar por um planejamento de acordo com a capacidade de cada ecossistema em reciclar os resíduos destas atividades.

Palavras-chave: Poluição ambiental, salinomicina, microorganismos patogênicos, resíduo orgânico.

ABSTRACT

PROCESS OF POULTRY LITTER AND THEIR IMPLICATIONS IN THE AGROECOSYSTEMS

Author: Leandro Hahn

Supervisor: Profa. Dr. Marília Terezinha Sangoi Padilha

Co-supervisor: Prof. Dr. Anicleto Poli

The intensive poultry production is a very important activity in Brazil and in Santa Catarina State, where it is concentrated in some regions. This production system creates a significant quantity of residues, especially the poultry litter. As this activity tends to increase, the production of this residue is going to grow. The high concentration of poultry litter in some regions, where the soil and the extraction of nutrients by the vegetables have not been enough to recycle it, it is happening the contamination by nutrients, by pathogenic microorganisms, and by residues from chemical products with economical repercussions on the public health and environment. In order to minimize these impacts, the producers have been stimulated to make the decomposition of the poultry litter before its application as a fertilizer. There are many doubts concerning the efficiency of this treatment in decreasing the potential in pollution of this residue. The goal of this research was to study the principal aspects inherent to production, process and use of poultry litter. It was also conducted an experiment to compare types of decomposition of this residue. The three used processes (treatments) were: CSC treatment (poultry litter with soil layers and covered with grass), CP (poultry litter covered with polyethylene) and CCC (poultry litter with grass layers and covered with grass). The samples were taken weekly in the first month and monthly until the end of the experiment after 180 days. It was attended the evolution of the temperature in the environmental and of the layers, humidity, pH, carbon rate, nitrogen, *Escherichia coli* level, *Salmonella*, oocysts of *Eimeria* and concentrations of salinomycin antibiotic. The results showed that depending on the type of decomposition treatment adopted, it could be possible to interfere in the potential of environment pollution came from the poultry litter. The use of the decomposition process usually adopted by the producers (CP treatment) shows less carbon and nitrogen losses, however, it is less efficient during the degradation of the salinomycin antibiotic. The addition of grass and the use of it as covering keeps a higher temperature during the process of decomposition and along time allows a greater water infiltration, which causes carbon losses later. The decomposition of the poultry litter, independent of the treatments, is efficient in controlling *Escherichia coli*, although the types of decomposition do not interfere in the reduction of the number of oocysts of *Eimeria*. The adaptation of the High-Pressure Liquid Chromatography (HPLC) technique in order to determine the salinomycin in the poultry litter is easy to proceed, it was enough sensible, specific, and reproducible. Although the decomposition process reduces the contamination in potential of the poultry litter, it is an isolated and insufficient measure. The production of poultry litter is linked to the whole production process, and this must possess a planning in agreement with the capacity of each ecosystem in order to recycle the residues from these activities.

Keywords: Environmental pollution, salinomycin, pathogenic microorganisms, organic waste.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da agricultura os resíduos das criações animais têm se constituído em uma fonte de elementos essenciais à manutenção da produtividade agrícola. O uso de dejeções dos animais para “fecundar” os campos de cultivo foi provavelmente um dos motivos que levou o homem a aproximar animais silvestres de seu convívio e a domesticá-los. CHILDE (1966) aponta que vários povos só conseguiam expandir seus territórios quando passavam a usar as dejeções animais para enriquecer suas terras, depauperadas com os cultivos sucessivos. O homem constatou que, onde os animais aproveitavam os restos das áreas de cultivo de cereais e deixavam suas excreções, havia uma melhoria nas condições físicas, químicas e biológicas do solo com o aumento do rendimento das colheitas seguintes. Entretanto, a maioria dos animais nesta época permanecia em grandes áreas, numa baixa densidade, propiciando uma distribuição uniforme dos dejetos, de modo que, a oferta e assimilação no solo dos nutrientes de suas excreções eram compensadas pela posterior extração pelas culturas.

O sistema de criação em grandes áreas de terras foi o adotado pelos colonizadores quando a grande maioria das atuais espécies exploradas pela agricultura foi introduzida no Brasil. Nesta época, confinamentos dificilmente ocorriam. Quando as aves foram introduzidas em Santa Catarina pelos colonizadores, o sistema adotado também não foi diferente. Os animais eram criados soltos nos quintais das casas, sem grandes cuidados por parte do produtor quanto ao seu manejo e alimentação. Este sistema de criação tradicional sofreu modificações significativas a partir da década de 60, quando os agricultores foram fortemente estimulados a substituí-lo por um novo sistema, que consistia na adoção de grandes criatórios de aves em confinamento, dando início à avicultura industrial. Paralelamente ao aumento da produção, produtividade e à especialização dos empreendimentos, houve a concentração das criações em determinadas regiões do estado devido, em grande parte, a algumas características locais que facilitavam a instalação de agroindústrias, como a proximidade da produção de grãos e a tradição familiar na criação de animais. O oeste catarinense, neste sentido, apresentava as melhores condições de alavancar a avicultura industrial, sendo que atualmente contribui com 75 % da produção estadual (IBGE, 1997). Dentro desta região, algumas micro-regiões têm uma expressão maior ainda, como por exemplo, Concórdia,

Joaçaba e Chapecó que somadas são responsáveis por 61,5% da produção estadual (ICEPA, 2004(a)).

Esta alta concentração de aves em determinadas regiões tem gerado uma alta concentração de resíduos, sendo a cama de aviário o resíduo de maior quantidade. A cama de aviário contém os excrementos e as penas das aves, a ração desperdiçada e o material absorvente de umidade usado sobre o piso dos aviários, constituindo-se assim, num resíduo com alta concentração de nutrientes. O solo e a extração dos nutrientes pelas culturas nestas regiões não estão sendo mais suficientes para reciclar e utilizá-los devido a grande disponibilidade de cama de aviário, provocando a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Este problema é agravado pelas mudanças que vêm ocorrendo na dieta dos animais. No modelo industrial de avicultura os animais são alimentados com rações concentradas em nutrientes e, como os alimentos não são aproveitados integralmente, os esterco produzidos ficaram mais ricos em nutrientes que os produzidos por aves criadas nos modelos anteriores à avicultura industrial.

Além desses aspectos, no modelo industrial os animais são criados em condições onde o contato com agentes patogênicos é o menor possível. Isto os deixa mais susceptíveis a estes agentes. O ambiente da criação (densidade, temperatura, distribuição dos comedouros e bebedouros, ventilação) pode contribuir para diminuir a resistência dos animais e permite uma maior exposição aos patógenos. Para minimizar e prevenir estes efeitos, a indústria tem usado produtos antimicrobianos (antibióticos e quimioterápicos), tanto como promotores de crescimento, como produtos de efeito curativo. A grande maioria destes produtos não é absorvida pelo frango, e assim, a cama de aviário pode apresentar resíduos destes antimicrobianos e/ou de seus metabólitos. O desconhecimento sobre os impactos destes no ambiente tornou-se motivo de grande preocupação.

Um outro tipo de contaminante geralmente presente nas fezes dos frangos são os microorganismos patogênicos. Muitos destes são resistentes aos antimicrobianos usados no tratamento de doenças em humanos e em outros animais de criação doméstica. Assim, quando a cama de aviário é aplicada no solo sem um tratamento prévio, estes microorganismos podem contaminar o solo, os mananciais de água e a vegetação. Quando infeccionam o homem e outros animais pelo contato com a pele e pelo consumo de alimentos, água e animais

aquáticos contaminados, as doenças causadas geralmente são de difícil tratamento pela inocuidade dos antibióticos.

A partir dos problemas de poluição do solo e dos recursos hídricos por nutrientes, microorganismos patogênicos e resíduos de produtos químicos usados na produção avícola, verificados principalmente a partir da década de 90, com repercussões na saúde pública e na economia, começou-se a questionar o uso da cama de aviário como fertilizante. Esta preocupação é crescente mesmo porque o atual modelo de avicultura continua em expansão de acordo com dados do ICEPA (2004(a)), o que aumenta ainda mais a produção e a disponibilidade deste resíduo. Assim, faz-se necessário propor e desenvolver medidas que possam ser adotadas ou intensificadas para diminuir os riscos de contaminação dos ecossistemas.

Entre estas medidas, o tratamento de decomposição da cama de aviário antes de ser utilizada como fertilizante tem merecido crescente destaque, pois se atribui a este tratamento a possibilidade de reduzir ou até mesmo eliminar patógenos e resíduos de substâncias químicas. Porém, poucos estudos têm sido desenvolvidos com a finalidade de investigar as transformações que ocorrem com a cama de aviário durante este processo e de verificar a eficiência desta decomposição em diminuir seu potencial de poluição ambiental.

Há grandes dúvidas entre os agricultores, técnicos e empresas sobre a utilização deste resíduo como fertilizante do solo. Empresas certificadoras da Agricultura Orgânica na falta de conhecimento ou informações mais confiáveis, respaldadas por comprovações científicas, adotaram diferentes recomendações no tratamento desse resíduo antes de sua aplicação no solo. Assim, algumas exigem um período de até 180 dias de decomposição do material como medida acauteladora. Já outras empresas certificadoras, proíbem incondicionalmente o seu uso como fertilizante.

Discutir e avaliar aspectos que envolvem o uso da cama de aviário na agricultura é o que objetivamos neste trabalho. Tomamos como ponto de partida o pressuposto de que a cama de aviário pode ser um fertilizante de baixo risco ambiental se processada e utilizada adequadamente.

Estruturamos esta dissertação em três capítulos. No primeiro capítulo procuramos levantar e discutir aspectos que envolvem a produção e utilização da cama de aviário na agricultura. Será discutido o seu potencial em fornecer nutrientes ao solo, o seu potencial como poluente, e será feita a descrição das principais transformações que ocorrem com o

produto desde a sua geração no aviário até ele ser aplicado no solo e a discussão de algumas medidas que poderiam ser adotadas ou intensificadas com vistas à diminuição de riscos que este resíduo tem de contaminar os ecossistemas.

No capítulo dois apresentaremos um trabalho experimental desenvolvido com o objetivo de estudar três formas de decomposição da cama de aviário.

Finalizaremos procurando considerar os aspectos pesquisados e discutidos no primeiro capítulo e o trabalho experimental realizado. Tentaremos apresentar subsídios que possam orientar melhor os agricultores, técnicos e empresas em adotar o procedimento mais adequado no manejo deste resíduo.

CAPÍTULO I – CONTEXTUALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E USO DA CAMA DE AVIÁRIO

1.1 A PRODUÇÃO AVÍCOLA E DE CAMA DE AVIÁRIO

A produção brasileira de carne de frangos em 2003 atingiu 7,8 milhões de toneladas, originada de um alojamento de 3,82 bilhões de pintos de corte. Esta produção conferiu ao Brasil a segunda posição no “ranking” mundial dos maiores produtores e exportadores, sendo superado apenas pelos Estados Unidos. Em 2001, o Brasil exportou 1,2 milhões de toneladas de carne, o que representou um aumento de mais de 7% em relação ao ano anterior e gerou uma receita de 1,3 bilhões de dólares (ICEPA, 2004(b)). Já em 2002, o aumento das exportações foi ainda maior, cerca de 28% (AVES E OVOS, 2003).

O estado de Santa Catarina liderou durante muito tempo o ranking na produção nacional de frangos de corte. No ano de 1999 sua produção foi superada pelo estado do Paraná (TALAMINI, 2002). Santa Catarina contribuiu com aproximadamente 1,2 milhões de toneladas de carne de frango em 2000 (20% da produção nacional) e a atividade é responsável por 24% do total do valor bruto da produção agrícola estadual (R\$ 1,013 bilhões em um total estadual de R\$ 4,2 bilhões) (ICEPA, 2004(b)). O setor avícola emprega diretamente em torno de 35 mil e, indiretamente, mais de 80 mil pessoas. O desenvolvimento desta atividade se sustenta, entre outros fatores, pelo seu pioneirismo, pela tradição dos produtores em criar animais, por sua estrutura de pequenas propriedades familiares, pelas agroindústrias já instaladas e pelo crescimento dos mercados interno e externo. Santa Catarina teve um aumento de produção de 21,2 % e 13,15% em 1998 e 1999, respectivamente (MACHADO, 2002).

Este expressivo crescimento também não é muito diferente para a avicultura de postura. Segundo AVES E OVOS (2003), a produção nacional cresceu 8% em 2002.

A previsão para 2004 era uma retração nos índices de aumento da produção e exportação avícola (Idem). Com a incidência da gripe asiática e a redução do plantel de animais neste continente, deverá haver um forte estímulo para o aumento da produção e exportação de frango no Brasil para este e os próximos anos.

Além da importância econômica para o estado de Santa Catarina, a avicultura industrial tem também uma importância social, pois está inserida em 9.600 propriedades rurais, a grande maioria pertencente a agricultores de base familiar (ICEPA, 2002 – comunicação pessoal).

A despeito de sua importância econômica e social, tanto para Santa Catarina e para o Brasil, esta atividade gera uma grande quantidade de resíduos, entre eles a cama de aviário.

A cama de aviário, também conhecida como cama de frangos ou esterco de aviário, é o material constituído pelas dejeções e penas de galináceos, restos de rações e pelo material orgânico absorvente da umidade usado sobre o piso do galpão (cepilho de madeira ou maravalha, palhas, cascas). Durante o ciclo de produção, as dejeções dos animais são misturadas ao material usado como substrato, e no final do ciclo, temos a cama de aviário que pode ser retirada ou reaproveitada no lote seguinte.

EDWARDS e DANIEL (1992) citam diversos fatores que podem influenciar a composição física e química da cama de aviário. O mais importante é o número de lotes criados na mesma cama e o tipo e a quantidade de material que é utilizado como substrato. Além desses fatores, citam também a idade de abate dos animais, a densidade de confinamento, a conversão alimentar, o tipo de alimento dos frangos, a umidade do material absorvente, o tipo de piso e as condições climáticas ocorridas durante a criação.

Além de influenciarem a composição final da cama de aviário, este grande número de fatores dificulta, em grande parte, a estimativa da quantidade de cama produzida numa região. Isto pode ser constatado pelos dados disponíveis na literatura. ANGELO *et al.*, (1997) estimam em 2,12 kg de cama de aviário por ave alojada, valor semelhante (2,6 kg) foi obtido por ORTOLANI e BRITO (2001). Usando estes valores e o alojamento brasileiro em 2001 de cerca de 3,82 bilhões de pintos de corte (AVES E OVOS, 2003), houve uma oferta de 8,09 a 9,93 milhões de toneladas de cama de aviário, respectivamente. Há, no entanto, pesquisas demonstrando que a quantidade de cama produzida por frango alojado é um pouco menor, como por exemplo, BELLAVER e PALHARES (2003), que estimam 1,3 kg de cama, assim como EDWARDS e DANIEL (1992), que estimam em 1,46 kg de cama por frangos por ciclo. A partir destes dados, as quantidades de cama produzida seriam respectivamente 4,97 e 5,58 milhões de toneladas. Apesar de haverem estas diferenças entre pesquisadores, o volume produzido, em todo caso, é bastante alto. A grandeza desses valores pode ser comparada a um

alimento amplamente consumido pela população brasileira, o feijão, cuja produção em 2001 foi de 2,6 milhões de toneladas (ICEPA, 2004(c)).

Estimativas de produção de cama de aviário para Santa Catarina mostram também haver uma grande oferta deste resíduo. Em 2002 foram abatidas 692 milhões de frangos (ICEPA, 2004(a)), o que equivale a uma produção de 900 mil toneladas a 1,8 milhões de toneladas de cama de aviário. Para se ter idéia deste volume, neste mesmo ano foram produzidos 4,3 milhões de toneladas de milho e 1,03 milhões de toneladas de arroz.

É necessário fazer também uma distinção entre a cama de aviário proveniente de criações de frangos destinados ao abate e o esterco de criações de galináceos para postura. O resíduo de criações pertencentes a esta última categoria de aves mantida em baterias de gaiolas apresenta somente as dejeções dos animais. Este material, de acordo com EDWARDS e DANIEL (1992), contém mais N, P, K, Ca, Cl, Na, Cu e Zn e apresenta uma umidade bem maior, porém é mais pobre em C e Fe do que a cama proveniente de criações da primeira categoria.

1.2 USOS DA CAMA DE AVIÁRIO

O principal destino que tem sido dado a cama de aviário é a sua aplicação como fertilizante do solo, podendo ser a sua utilização direta ou pela produção de substrato para produção de mudas. Ultimamente algumas empresas têm utilizado a cama de aviário para produzir fertilizantes organo-minerais. Uma discussão mais aprofundada sobre o uso da cama de aviário como fertilizante será feita no tópico seguinte.

A cama de aviário era um ingrediente da ração de ruminantes intensamente utilizado pelos pecuaristas. Inúmeras pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de quantificar os efeitos da incorporação da cama de aviário na ração sobre características produtivas de várias espécies animais, tanto explorados zootecnicamente quanto espécies não domesticadas. A maioria destas investigações tem buscado identificar as melhores proporções de cama de aviário para ser misturado com alimentos convencionais, o aumento de seu valor nutricional e sua palatabilidade e formas de diminuir ou eliminar patógenos, metais pesados e resíduos de substâncias antimicrobianas. Os trabalhos de BHATTACHARYA e TAYLOR (1975), McCASKEY e ANTHONY (1979), TAYLOR e GEYER (1979), OLIVEIRA (1997) e

OLIVEIRA (1998) provêm revisões aprofundadas sobre o uso da cama de aviário para esta finalidade.

Até o ano de 2001 não havia nenhum impedimento da legislação brasileira quanto ao uso da cama de aviário na alimentação de ruminantes. A partir da Instrução Normativa Nº 15, de 17 de julho de 2001, no seu 2º artigo (DOU de 18-07-01) proibiu-se a produção, comercialização e uso da cama de aviário com esta finalidade. Esta decisão foi tomada porque este resíduo pode conter ingredientes de origem animal provenientes da ração desperdiçada dos comedouros pelos frangos, sendo possível que os bovinos, ao ingerirem esta cama, passem a ser portadores da doença conhecida como BSE (síndrome da vaca louca). Como a imagem que o Brasil estava defendendo no comércio exterior era de que a carne bovina brasileira era produzida sem a presença de ingredientes da dieta com origem animal, a utilização da cama de aviário contrariaria esta imagem. Além deste aspecto, outros inconvenientes do uso da cama de aviário na alimentação de ruminantes são apontados por OLIVEIRA (1997) e ORTOLANI e BRITO (2001): presença de toxinas produzidas por bactérias (toxina botulínica produzida por *Clostridium botulinum* e aflatoxinas produzidas por *Aspergillus flavus* ou *A. fumigatus* quando o material usado no piso do galpão é a casca de amendoim), hipocalcemia, algumas enfermidades infecciosas produzidas por *Salmonella* e coliformes, a intoxicação por cobre, amônia, resíduos de substâncias químicas e os acidentes pela presença de corpos estranhos.

Nos Estados Unidos o uso da cama de aviário para alimentação de ruminantes também havia sido proibido. Em 1998 o órgão de licenciamento de alimentos e substâncias na produção animal (Federal Drug Administration – FDA) revogou sua decisão e permitiu novamente o uso da cama de aviário na alimentação de ruminantes. Mas, neste caso, as normas da Associação Americana de Químicos Oficiais de Alimentos (AAFCO) devem ser rigorosamente atendidas. Estas normas pressupõem a licença/registro da cama de aviário processada e monitorada periodicamente para *Salmonella*, *Escherichia coli*, metais pesados, pesticidas, drogas, ovos e larvas de parasitas e micotoxinas.

No Brasil também há pesquisadores que advogam pela revisão da legislação para que volte a ser permitido o uso da cama de aviário na alimentação de ruminantes, como por exemplo, BELLAVER e PALHARES, (2003), mesmo porque, clandestinamente, a cama de aviário continua sendo utilizada para este fim em inúmeros confinamentos do Brasil. Segundo estes defensores, há maneiras de processar este resíduo que poderiam eliminar a grande

maioria de seus inconvenientes. O que estaria faltando é uma maior fiscalização para que realmente os agricultores fizessem este processamento antes de fornecer a cama aos animais.

Mais recentemente tem sido pesquisada formas de utilização da cama de aviário para a geração de energia. A sua conversão em energia pode ser feita através de diferentes processos, dependendo do material e do tipo de energia desejada. Entre estes processos, a fermentação talvez seja o processo mais viável e, em alguns casos, a combustão direta é outra alternativa interessante. EDWARDS e DANIEL (1992) citam que a cama de aviário seca possui a metade do valor calorífico do carvão mineral. A cinza residual da queima retém a maior parte do fósforo, potássio e micronutrientes da cama, representando ainda um excelente fertilizante, apesar das perdas de carbono nitrogênio e enxofre durante a combustão.

A fermentação da cama de aviário resulta na geração de biogás, o qual, de acordo com EDWARDS e DANIEL (1992), consiste de aproximadamente 60% de metano e 38% de dióxido de carbono. Os 2% restantes são vapor d'água, amônia e sulfeto de hidrogênio.

LUCAS Jr. e SANTOS (2000), descrevem que da cama de aviário produzida por 1000 aves pode-se obter o equivalente a 10 botijões de 13 kg de gás liquefeito pressurizado - GLP, o que corresponde a 300m³ de biogás. Estes autores sugerem biodigestores do tipo batelada, em que a cama é adicionada uma única vez e o biodigestor é esvaziado após o término da fermentação. O período de 15 dias entre a retirada dos frangos do aviário e o novo loteamento coincide com o período necessário para um biodigestor atingir o pico de produção de biogás. As primeiras semanas da criação são o período em que o avicultor utiliza grandes quantidades de energia para o aquecimento dos pintos e, se ele utilizasse o biogás, poderia reduzir sensivelmente os gastos com este insumo.

Apesar de proporcionar este benefício, alguns inconvenientes da produção de biogás a partir da cama de aviário fazem com que a técnica não seja ainda muito adotada. A principal delas, provavelmente, é a sua dificuldade operacional, tanto antes quanto depois da cama ter sido submetida à fermentação para a produção de energia. A diluição da cama em água e o trabalho de fazer a mistura para formar uma pasta homogênea antes da cama ir para o biodigestor, representam uma grande dificuldade para o agricultor. Após o término da fermentação, a dificuldade de manejar um esterco diluído em água aumenta em relação a um esterco com menor teor de umidade. Além disso, a possibilidade de ocorrer poluição dos recursos hídricos, de acordo com a pesquisa de HODGKINSON *et al.* (2002), aumenta consideravelmente quando o esterco está diluído em água.

As pesquisas que visam estudar formas alternativas de utilização da cama de aviário, como a alimentação de ruminantes e geração de energia, entre outras, merecem receber uma atenção maior. Percebe-se que existem ainda muitas dúvidas com relação à viabilidade e eficiência destas alternativas, sendo talvez, por isso, pouco adotadas.

1.3 PROBLEMAS ASSOCIADOS À CAMA DE AVIÁRIO COMO FERTILIZANTE

1.3.1. POLUIÇÃO POR NUTRIENTES

Os dois elementos presentes em altas concentrações na cama de aviário mais relacionados com contaminação ambiental são o nitrogênio e o fósforo. O nitrogênio pode contaminar a atmosfera, o solo e as águas superficiais e subterrâneas. O fósforo pode contaminar o solo e, principalmente, as águas superficiais. Além destes, o potássio e nutrientes como o cobre, zinco, cálcio, magnésio, em menor concentração na cama de aviário, também apresentam um risco de contaminação quando a cama é inadequadamente utilizada.

Inconvenientes causados pela liberação de nutrientes da cama de aviário ocorrem quando ela ainda está sendo utilizada pelo agricultor dentro dos aviários. Nestes locais, inúmeras reações de transformação de compostos orgânicos em formas inorgânicas são desencadeadas e perdas de nitrogênio têm sido apreciáveis e motivos de preocupação.

KELLEHER *et al.*, (2002) assinalam que cerca de 60 a 80% do nitrogênio eliminado pelas fezes do frango encontra-se tipicamente em formas orgânicas, como proteína e ácido úrico. Dependendo das condições de temperatura, umidade, pH e ventilação às quais a cama é submetida dentro do aviário, boa parte deste nitrogênio orgânico já começa a ser mineralizado. MOREIRA e FRANCO (2002) comentam que o ácido úrico é decomposto por inúmeras bactérias, como as *Pseudomonas* spp., que o transformam em alantoína e depois em ácido alantóico, que é degradado a ácido glioxílico e uréia.

A mineralização é descrita como um processo constituído pela amonificação e pela nitrificação. A transformação do nitrogênio orgânico em formas amoniacais: amônio (NH_4^+) e amônia (NH_3), que corresponde a amonificação, é um processo que ocorre sem a presença de microorganismos específicos. Muitos organismos quimiorganotróficos são capazes de efetuar

esta transformação, tanto em condições anaeróbias quanto aeróbias. Já a transformação do nitrogênio amoniacal para nitrato (NO_3^-), chamado de nitrificação, é um processo estritamente aeróbio. Quando a cama de aviário apresenta uma alta umidade, o que pode ocorrer durante o inverno, períodos chuvosos ou com uma intensa utilização de nebulização durante o verão, o processo de amonificação é intensificado, ocorrendo perdas significativas de amônia para a atmosfera. Além disso, na predominância de um ambiente anaeróbio, a nitrificação é bastante lenta. Quando a quantidade de amônia inalada é superior a 60 ppm, a ave fica predisposta a doenças, aumentando os riscos de infecções bacterianas secundárias no trato respiratório. Quando o nível de amônia atinge 100 ppm, há redução da taxa de respiração, prejudicando os processos fisiológicos de trocas gasosas. Por isso, OLIVEIRA *et al.*, (2003) destacam que pessoas que trabalham em ambientes com alta concentração de amônia apresentam alta incidência de sintomas agudos e crônicos incluindo, tosse, irritação dos olhos, fadiga, congestão nasal, espiro, dor de cabeça, irritação na garganta e febre.

Mas os problemas gerados pela liberação de amônia não se restringem apenas ao ambiente interior do aviário. A poluição atmosférica por amônia representa um papel importante para a ocorrência de chuva ácida em regiões com alta produção de resíduos animais. Segundo dados de NICHOLSON *et al.* (2002), cerca de 80-90% da amônia liberada para a atmosfera na Europa se origina de resíduos animais. Conforme estes autores assinalam, a amônia aumenta o pH da água da chuva, o qual permite uma maior dissolução de sulfato. O sulfato de amônio formado oxida-se no solo e libera ácido nítrico e sulfúrico. Estes produtos, em determinadas situações, podem reduzir o pH do solo a valores extremamente baixos (2,8 – 3,5) e elevar os níveis de alumínio dissolvido em solos não calcariados. De acordo com SCHRODER (1985), nitrogênio depositado via chuva ácida triplicou na Dinamarca entre 1955 a 1980. Aumentos dos níveis de nitrogênio na chuva também apresentam uma alta correlação com o conteúdo de nitrato em rios dinamarqueses.

No Brasil não há ainda muita preocupação com a emissão de amônia em áreas de produção animal associado ao fenômeno da chuva ácida. Chuvas ácidas quando são registradas em nosso território são relacionadas à emissão de formas acidificadoras da chuva provenientes de áreas densamente industrializadas e urbanizadas (MELLO, 2001).

Não obstante as perdas e impactos ambientais devido à volatilização de amônia, as maiores perdas de nutrientes e maiores possibilidades de contaminação ambiental ocorrem

quando a cama é retirada do aviário e utilizada como fertilizante. É neste aspecto que, para as condições brasileiras, temos motivos suficientes para nos preocupar.

A utilização da cama de aviário como fertilizante é desejável economicamente, uma vez que representa um recurso interno da propriedade rural e é um resíduo contendo uma elevada concentração de nutrientes (TABELA 1). Em muitas propriedades é a única fonte de nutrientes adicionados ao solo pelos agricultores. Entretanto, do ponto de vista ecológico, há grandes restrições ao seu uso, pois este resíduo pode ser um poluente do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Como já foi citado anteriormente, estes problemas são agravados pela alta concentração de confinamentos de frangos e pela diminuição de áreas disponíveis para deposição de resíduos.

Normalmente os agricultores aplicam a cama de aviário nas suas lavouras para poder limpar os aviários. Nesse sentido, o solo tem sido um receptor terminal deste resíduo. As necessidades nutricionais das culturas e a otimização da aplicação para aproveitamento máximo dos nutrientes pelas culturas, critérios que deveriam prevalecer quando se aplica qualquer fertilizante no solo, geralmente não são respeitados. Desequilíbrios químicos, físicos e biológicos no solo, o risco de toxicidade às plantas e as perdas de nutrientes por erosão e lixiviação podem causar a poluição dos recursos hídricos e são sintomas da utilização inadequada deste e de outros resíduos.

A cama de aviário não é balanceada em todos os nutrientes necessários às culturas. Assim, para que não ocorram aplicações em excesso de nitrogênio, fósforo ou potássio, a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997) recomenda que se tome por base para o uso deste resíduo como fertilizante, o nutriente cuja quantidade será satisfeita com a menor dose de cama de aviário. Os nutrientes não supridos deverão ser complementados com outras fontes.

Se considerarmos o município de Joaçaba (quinto produtor catarinense de frangos de corte), em 2001 produziu 22.140 toneladas de cama de aviário¹. Isto possibilitaria o uso de 2.760 kg de cama/ha e permitiria fertilizar 1/3 da área do município. Se todas essas terras fossem plantadas com milho, cultura que extrai uma grande quantidade de nutrientes do solo

¹ Dados de cálculo:

* Joaçaba: 14.757.543 pintos alojados (ICEPA, 2001) e 8.035 ha de área útil.

* Recomendação para milho: N - 140kg, P₂O₅ - 50kg e K₂O 70 kg (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC, 1997).

* Composição da cama de 3 lotes: N - 3,2%, P₂O₅ - 3,5% e K₂O - 2,5 % (Idem).

para terminar seu ciclo, e prevêssemos uma produtividade acima de seis toneladas/ha, seriam necessários 1.670 kg/ha, 6.125 kg/ha e 4.000 kg/ha de cama de aviário para satisfazer a necessidade de fósforo, nitrogênio e potássio respectivamente. De acordo com as recomendações, deveria ser utilizado o menor valor e, dessa forma, não teríamos um excedente de nitrogênio, fósforo ou potássio no solo, pois os nutrientes dos 2.760 kg de cama/ha disponíveis poderiam ser extraídos com uma safra e safrinha de milho. Entretanto, as doses geralmente aplicadas são sempre bem maiores, o que pode estar causando um grande acúmulo destes três nutrientes no solo e a contaminação da água, bem como acúmulo de outros nutrientes e metais pesados.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO SEGUNDO DIFERENTES FONTES.

Nutrientes (MS)	NCSU (2003) ²	DANIEL e OLSON (2001) ³	ROLAS ⁴ (Cama 3 lotes)	FIALHO <i>et al.</i> (1984)	PASTORI <i>et al.</i> (1983)
Umidade (%)	-	21,9	30	19,1	20,6
N (%)	3,3	4,46	3,2	3,38	3,84
P (%) ⁽¹⁾	3,5	2,1	3,5	1,9	-
K (%)	2,0	3,0	2,5	-	-
Cálcio (%)	1,86	3	-	2,8	
Cobre (ppm)	200	557	-	115	-
Zinco (ppm)	290	484	-	283	-
Ferro (ppm)	590	2377	-	510	-

Notas : ¹ - Fósforo na forma P₂O₅;

² - North Carolina State University;

³ - citado por BELLAVER e PALHARES (2003). Valores obtidos de 192 amostras dos EUA.

⁴ - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997);

Deve-se considerar ainda que a cama de aviário não é o único resíduo agrícola disponível nas propriedades do município. Joaçaba é grande produtor de suínos e de gado leiteiro, intensificando o problema.

Trabalhos realizados no Brasil há alguns anos atrás, como o de FIALHO *et al* (1984), mostram valores elevados de cobre e zinco na cama de aviário (115 e 283 ppm, respectivamente). Atualmente o uso de cobre e zinco nas rações dos frangos como promotores

de crescimento e no controle de doenças, não é mais uma prática comum no Brasil. Assim, a cama de aviário produzida em nossas condições não apresenta concentrações elevadas desses elementos na sua composição, ao passo que nos Estados Unidos (NCSU, 2003 e DANIEL e OLSON, 2001, citado por BELLAVER E PALHARES, 2003) (TABELA 1), onde persistem o uso destes metais nas criações animais, existe uma grande preocupação pelo acúmulo de cobre e zinco no solo pelo uso da cama de aviário como fertilizante. Esta preocupação se deve porque os metais pesados estão dentro de uma faixa estreita entre necessidade e toxicidade, tanto para microorganismos quanto para as plantas. Um aumento pequeno dos teores desses elementos no solo poderá afetar negativamente os componentes dos ecossistemas.

Ao serem aplicados no solo, os nutrientes da cama de aviário que já foram mineralizados e já se encontram numa forma inorgânica somados àqueles que rapidamente são mineralizados, podem ser absorvidos pelas plantas. Podem também ser imobilizados pela biomassa microbiana, dissolvidos e carregados para águas de escoamento superficial ou lixiviados, perdidos para a atmosfera ou se acumular no solo. Inúmeras variáveis influenciam estes diferentes destinos dos nutrientes liberados pela cama e, portanto, diferentes tipos e intensidades de impactos ambientais podem ocorrer de acordo com o manejo da cama de aviário adotado pelo agricultor.

O acúmulo de nitrato, potássio e micronutrientes no solo quando quantidades elevadas e contínuas de cama de aviário são aplicadas, pode causar diminuição de rendimento de várias culturas agrícolas. EDWARDS e DANIEL (1992) citam pesquisas em que estes efeitos são observados.

Aplicações continuadas e em longo prazo de cama de aviário (15-28 anos) em solos com pastagens de festuca (*Festuca arundinacea*) no Estado do Alabama – Estados Unidos mudaram significativamente as características químicas do solo em relação a solos de pastagem da mesma região que não receberam aplicações de cama de aviário, criando assim, um potencial para impactos ambientais adversos na região. As aplicações deste resíduo aumentaram significativamente as concentrações nos primeiros 15 e 30 cm de profundidade para nitrogênio total, potássio, cálcio, magnésio, cobre e zinco. Fósforo extraível aumentou sua concentração em seis vezes (KINGERY *et al.* 1993).

Estes autores citam em seu trabalho diversas pesquisas em que ocorrem efeitos adversos em bovinos consumindo pastagens fertilizadas há vários anos com cama de aviário. Estes efeitos estão geralmente associados a uma síndrome chamada de “tetania das

pastagens”. Isto ocorre quando uma pastagem apresenta uma relação $K:(Ca+Mg)$ maior que 2,2 e concentrações tóxicas de nitrato (concentrações maiores que 33.000mg/kg de pastagem). Bovinos manifestando esta síndrome apresentam pouco apetite, tremores musculares, convulsões, ficam nervosos e em alguns casos mais severos, ocorre a morte dos animais. Com relação a este aspecto, estes autores em seu trabalho verificaram que a relação $K:(Ca+Mg)$ e a concentração de nitrato no tecido vegetal de pastagens ainda não havia excedido os limites tóxicos, apesar dos níveis terem sido significativamente superiores às pastagens que não foram adubadas com cama de aviário.

A elevação das concentrações de nutrientes no solo, atingindo níveis tóxicos às plantas e podendo causar a redução do rendimento das culturas agrícolas, talvez não seja a maior das restrições que tem sido apontada em se tratando do efeito poluidor associado ao uso da cama de aviário como fertilizante. A contaminação dos recursos hídricos apresenta consequências que são mais rapidamente detectadas e sentidas pela população que utiliza estas águas para o seu consumo e criação de animais. Quando os efeitos da baixa qualidade da água começam a traduzir-se em uma questão de saúde pública é que se busca a origem e a solução do problema. Inúmeros países apresentam elevados custos para diminuir a concentração de nutrientes nas águas superficiais e subterrâneas, sendo que muitos destes recursos hídricos pertencem a ecossistemas com áreas de uso intensivo de resíduos de origem animal. A investigação de fatores e variáveis ambientais que intensificam ou diminuem a poluição hídrica, tem recebido atenção especial de pesquisadores e dos órgãos públicos com o objetivo de mitigar os efeitos adversos causados pela aplicação excessiva de cama de aviário e prover melhores recomendações ao seu uso.

Neste sentido, dois aspectos, além de claro, da quantidade de cama aplicada, têm sido evidenciados como sendo responsáveis por aumentarem significativamente a poluição de recursos hídricos superficiais por nutrientes provenientes da cama de aviário: a aplicação sem incorporação no solo aliada a períodos com intensas e prolongadas chuvas.

Com a aplicação superficial podem ocorrer perdas significativas de nitrogênio pela volatilização de amônia. KIRCHMANN e LUNDVALL (1998) citam que a incorporação de cama de aviário numa profundidade de cinco centímetros reduziu a volatilização de amônia em 80% comparado com aplicação superficial sem incorporação. WOLF *et al.* (1988) citado por EDWARDS e DANIEL (1992), observaram perdas de apenas 1% por volatilização em

condições de laboratório e 8% em experimentos a campo quando a cama de aviário foi incorporada no solo.

Em períodos de intensas e prolongadas chuvas, EDWARDS e DANIEL (1992) apontam que os poluentes potenciais da cama de aviário podem ser transportados da superfície de áreas tratadas por um destes modos: (1) em solução/suspensão, (2) adsorvidos a partículas do solo e (3) em formas particulares. Poluentes transportados pelo primeiro modo incluem algumas formas de nitrogênio orgânico (ácido úrico, por exemplo), fósforo e carbono solúvel, nitrato e amônio. Amônio e fósforo podem ser adsorvidos às partículas do solo e serem transportados pela erosão, enquanto que o transporte em formas particulares é possível para formas orgânicas de carbono, nitrogênio e fósforo. A contaminação da água por estes nutrientes eutrofiza as águas (do grego *eu* – “bem” e *trophein* - “nutrir”) e traz como consequência a depleção da quantidade de oxigênio dissolvido na água. Isto ocorre porque as algas, que inicialmente aumentaram significativamente sua população pelo estímulo proporcionado pela elevada concentração de nutrientes na água, entram em decomposição e reduzem o teor de oxigênio, provocando a morte de peixes e de outros organismos aquáticos. As características organolépticas da água são severamente afetadas, impossibilitando seu uso inclusive para fins recreativos.

Dentre os elementos presentes na cama de aviário, o fósforo é o elemento mais relacionado com a eutrofização dos recursos hídricos. A maior parte do fósforo na água de escoamento superficial encontra-se na forma solúvel (80 a 90%), a qual é a forma mais rapidamente disponível para a utilização pelas algas (EDWARDS e DANIEL, 1993).

O trabalho de McLEOD e HEGG (1984) evidencia o efeito da chuva após aplicações de cama na superfície do solo. Eles observaram que numa segunda simulação de chuva, as formas nitrogenadas diminuíram sua concentração em 80% na água de escoamento superficial e os demais parâmetros avaliados em aproximadamente 55%. A primeira simulação de chuva foi feita um dia após a aplicação da cama (112 kg de N/ha) e as amostras de água coletadas apresentaram concentrações de 40mg/l de nitrogênio total, 16mg/l de amônio, 2,5 mg/l de nitrato, 12mg/l de fósforo total, 25 mg/l de sólidos totais e 250 mg/l de demanda química de oxigênio.

Assim, pelos dados apresentados, a incorporação da cama de aviário no solo teria a vantagem de reduzir significativamente as perdas de nutrientes por volatilização e pelo escoamento superficial da água. Porém esta prática não é possível em muitas áreas agrícolas,

principalmente após a adoção de formas de cultivo que priorizam o revolvimento mínimo do solo, como o plantio direto. A incorporação em áreas de pastagens perenes também não é possível. Nestas situações, a aplicação da cama deve ser feita em períodos com baixa intensidade de chuvas e preferencialmente parcelada para que haja uma maior distribuição da disponibilidade dos nutrientes para absorção pelas culturas. Em períodos de escassez de chuvas também não é recomendada sua aplicação pelas significativas perdas por volatilização de amônia.

Em contrapartida, a aplicação superficial da cama diminui as possibilidades de contaminação das águas subterrâneas. GIDDENS e RAO (1975) citado por EDWARDS e DANIEL (1992), verificaram que esta prática resultou numa redução de 53% de nitrato na água lixiviada comparando com cama que foi incorporada.

A qualidade da água subterrânea pode ser impactada devido ao movimento de água contendo poluentes presentes na cama de aviário. O transporte no perfil do solo é dependente das características hidráulicas do sistema solo/resíduo assim como das quantidades e formas dos poluentes em potencial presentes, os quais por sua vez são dependentes das transformações e práticas de manejo adotadas pelos agricultores.

Os nutrientes poluentes que mais têm recebido atenção por causarem este tipo de poluição incluem formas solúveis de nitrogênio (particularmente nitrato), sais e formas solúveis de fósforo. Este último elemento dificilmente está relacionado com contaminação de águas subterrâneas, pois é fortemente adsorvido pela argila e óxidos do solo. HODGKINSON *et al.*, (2002) aplicaram durante quatro anos seguidos em solos da Grã-Bretanha cerca de sete toneladas de cama de aviário fresca/ano (o equivalente a 60 kg de P/ha/ano) em um solo contendo 42% de argila. A quantidade de fósforo lixiviada até 1,1 metros de profundidade das parcelas que receberam cama de aviário não apresentou diferenças em relação às parcelas que não receberam aplicação de fósforo.

Algumas perdas de fósforo por lixiviação, na forma de fosfato (PO_4^{+}) têm sido verificadas, mas somente em solos arenosos.

O maior contaminante das águas subterrâneas é o nitrato. O nitrato, devido ao saldo de cargas negativo, é fracamente adsorvido pela argila e óxidos do solo, percolando com grande facilidade. SEGANFREDO (2001) cita que concentrações acima de 10mg/l são freqüentemente detectadas na água de poços, em solos arenosos, com criação intensiva de frangos e uso intensivo de esterco. Concentrações elevadas de nitrato na água utilizada para

consumo humano podem causar metahemoglobinemia² e formar nitrosaminas e nitrosamidas desencadeadoras de doenças carcinogênicas.

O potencial poluidor das águas superficiais e subterrâneas pode ser sintetizado através do trabalho de alguns pesquisadores.

Aplicações anuais de 13, 27, 54 e 179 toneladas por hectare de cama de aviário durante 4 anos em solos arenosos com lavouras de milho resultaram em uma concentração de nitrato de 13, 21, 35 e 109 mg/l, respectivamente, no lençol freático localizado a três metros da superfície (LIEBHARDT *et al.*, 1979). Resultados semelhantes também foram verificados por KINGERY *et al.* (1994).

Num trabalho realizado na costa leste dos Estados Unidos, RITTER e CHIRNSIDE (1987) compararam solos com as mesmas características em duas regiões produtoras de milho e soja, mas sendo que numa região havia uma alta produção de frangos e, por conseguinte uma alta oferta de cama de aviário, e numa outra região eram utilizados fertilizantes de síntese industrial. Nesta última, as concentrações de nitrato em águas amostradas de poços artesianos de 6 a 34 m de profundidade eram menores (7,72 mg/l) do que as concentrações (10,25 mg/l) nas áreas com alta produção de frangos. Já as concentrações de amônio nas águas amostradas foram baixas para ambos locais. Os autores concluem que a alta disponibilidade de cama de aviário a um custo bastante baixo induz os agricultores a fazerem aplicações que extrapolam os limites de utilização dos nutrientes pelas plantas. Já as aplicações de fertilizantes de síntese industrial são racionadas pelos seus elevados custos.

O potencial de poluição da cama de aviário, assim como de qualquer outro resíduo, além da concentração de nutrientes, é função da velocidade de decomposição da matéria orgânica do resíduo, ou, em outras palavras, da sua taxa de mineralização, o que expressa a proporção de nutrientes disponíveis às plantas no decorrer do tempo. EDWARDS e DANIEL (1992) estimam uma disponibilidade de nitrogênio de 0,75, 0,05 e 0,05 para os primeiros 3 anos após aplicação. BITZER e SIMS (1988) observaram que aproximadamente 69% de nitrogênio orgânico da cama de aviário incorporado num solo arenoso foram mineralizados depois de 140 dias. Resultados próximos foram obtidos por SIMS (1986). Já a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1997) estabelece valores um pouco menores de índice

² O nitrito proveniente da conversão do nitrato no sistema digestivo liga-se a hemoglobina do sangue e forma a metahemoglobina. Este composto tem uma capacidade de transporte de oxigênio na corrente sanguínea muito inferior à hemoglobina, causando a asfixia da pessoa. Este problema é bem maior em crianças de até 3 anos pela maior conversão de nitrato em nitrito, o que é favorecida pelo maior pH estomacal.

de liberação: 0,5 no primeiro ano e 0,2 no segundo ano, porém estes valores são utilizados para resíduos orgânicos de modo geral e para qualquer estação do ano. A cama de aviário por apresentar quantidades bem maiores de nitrogênio que a maioria dos demais resíduos, e ao utilizarmos o valor 0,5 como taxa de liberação, poderíamos estar subestimando a quantidade deste elemento disponível às plantas em um cultivo. Desse modo, estaríamos aumentando a quantidade de nutrientes sujeitos a causar poluição. Para o fósforo a comissão estabelece um índice de liberação de 0,6 no primeiro ano e 0,2 no segundo ano. Evidentemente estes valores podem apresentar uma grande variação, dependendo dos tratamentos prévios que a cama foi submetida, quantidade e método de aplicação (superficial ou incorporação), da época do ano, das condições climáticas, da intensidade e duração das chuvas, topografia, do tipo de solo, do tipo de cobertura vegetal, entre outros fatores.

Apesar da importância, poucos estudos sobre a dinâmica de liberação, destino e principalmente quanto ao potencial dos nutrientes da cama de aviário em poluir o solo e as águas têm sido conduzidos até o momento em Santa Catarina ou no Brasil. Na maioria dos trabalhos com a cama de aviário, são feitas apenas curvas de resposta do rendimento de algumas culturas a doses crescentes de aplicação. Nesse sentido, a cama de aviário é considerada apenas como uma fonte de nutrientes para serem absorvidos pelas plantas. Para Santa Catarina, os trabalhos de CASTRO (1999) e GONÇALVES (2000) apresentam um diagnóstico da contaminação de água em áreas agrícolas com suinocultura e avicultura intensiva na região oeste catarinense e dos desequilíbrios advindos deste problema. Estes autores verificaram que a grande maioria dos parâmetros químicos e biológicos das águas nestes locais excedia os níveis máximos permitidos pela legislação. A relação da poluição do solo com o uso prolongado da cama de aviário, não têm ainda merecido atenção suficiente.

O trabalho realizado por ALMEIDA (2004) revela que o nível das águas dos aquíferos da Serra Geral e Guarani, na região Meio-Oeste de Santa Catarina está aumentando por causa dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho. Quanto mais próximos da superfície ficam estes aquíferos, maior é a possibilidade de sua contaminação, especialmente em áreas onde as rochas apresentam fraturas. Esta constatação deve ser vista com extrema preocupação, uma vez que estes aquíferos representam uma das maiores reservas de água doce sem contaminação no Brasil.

Informações mais específicas para diferentes situações de aplicação deveriam ser geradas para melhor orientar técnicos e agricultores na otimização do potencial fertilizante da

cama de aviário, principalmente porque as informações existentes na literatura relacionando diversos aspectos da utilização da cama de aviário como fertilizante foram feitos em outros países.

1.3.2 DISSEMINAÇÃO DE MICROORGANISMOS PATOGÊNICOS

A alta concentração de nutrientes, material orgânico e uma constante deposição de fezes pelos animais conferem à cama de aviário características de um substrato favorável à manutenção e desenvolvimento de uma elevada e diversificada população microbiana. Do ponto de vista da saúde pública e da preocupação pelo impacto mínimo da agricultura na qualidade ambiental, alguns desses organismos apresentam um grande interesse, pois podem contaminar o solo, os mananciais de água e infectar o homem e outros animais pelo contato com a pele e pelo consumo de água, animais aquáticos e alimentos contaminado.

Especificamente, entre os patógenos que podem ser transmitidos ao homem encontrados na cama de aviário, BHATTACHARYA e TAYLOR (1975) e EDWARDS e DANIEL (1992) citam o vírus da doença de New Castle e *Chlamydia*, os quais causam, respectivamente, conjuntivites e pneumonia, a *Listeria monocytogenes* (responsável por listeroses), *Mycobacterium avium* (ocasionalmente responsável por tuberculose), *Candida albicans* (o agente causal de doenças fúngicas, candidiases, com sintomas de lesões orais, vaginites, lesões na pele e infecção bronquio-pulmonar), *Aspergillus fumigatus* (causadora de renite, asma e doenças pulmonares crônicas), *Clostridium botulinum* (produz substâncias tóxicas), vários sorotipos de *Salmonella* e *Escherichia coli*.

Estas duas últimas espécies, *Salmonella* e *E. coli*, ambas pertencentes à família *Enterobacteriaceae*, têm sido as de maior preocupação por apresentarem os maiores tempos de sobrevivência fora do organismo da ave e estarem mais freqüentemente relacionadas com contaminações do solo e da água. Para EDWARDS e DANIEL (1992), casos de contaminação humana causada pelos demais microorganismos raramente são detectados, mas a sua presença pode causar problemas sanitários principalmente quando a cama de aviário é fornecida na alimentação de ruminantes.

Outro grupo de microorganismos comumente encontrado na cama de aviário são as eimérias. Apesar de não haver risco de contaminação do homem por ele não ser hospedeiro destes protozoários, os oocistos liberados pelas eimérias nas fezes das aves podem ser re-

ingeridos pelas aves ou ser ingeridos por animais domésticos quando a cama de aviário é aplicada em pastagens ou estes consomem água contaminada. Os oocistos são as estruturas reprodutivas das eimérias e representam uma reserva de infecção fora do organismo das aves.

O gênero *Eimeria* pertence à classe *Sporozoa*, sub-grupo *Coccidia*. São parasitas que atacam e destroem as células que compõem as paredes do aparelho digestivo do frango e a doença causada por elas, coccidiose, é a responsável pelos maiores prejuízos dentro da avicultura. Existem nove espécies de eimérias, que podem ser diferenciadas pela região em que se localizam no intestino da ave.

O gênero *Salmonella* sp. é composto por mais de 2000 sorotipos. Esta bactéria tem a forma de bastonete, é gram-negativa e é a mais associada à microbiota entérica das aves, as quais contaminam-se de diferentes modos no ambiente avícola. É uma bactéria relativamente resistente às restrições de suas ótimas condições de desenvolvimento, podendo sobreviver como saprófita fora do hospedeiro por vários meses. MAWDSLEY, *et al.* (1995) descrevem que a maioria das espécies de *Salmonella* infecta várias espécies de animais, apesar de algumas apresentarem hospedeiros específicos. Indivíduos jovens apresentam maior suscetibilidade e consequências mais graves a uma infecção causada por esta bactéria.

TURPIN *et al.*, (1993) indicam que a *Salmonella* pode sobreviver por longos períodos no solo num estado viável, mas não detectável pelos métodos tradicionais de cultivo bacteriológico em laboratório. Os autores têm dúvidas se estas formas ainda são capazes de causar doenças em humanos. Em condições laboratoriais, esta bactéria resiste à temperatura de 55° C por 1 minuto, enquanto suas toxinas resistem à 60° C por 15 a 20 minutos (HCV/UFRGS, 2002).

A *Escherichia coli* é uma bactéria gram-negativa, pertence ao gênero *Escherichia*, que, juntamente com os gêneros *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*, forma o grupo denominado coliforme (SILVA e JUNQUEIRA, 1995). Conforme MAWDSLEY, *et al.*, (1995), o habitat das bactérias que pertencem ao grupo coliforme é o trato intestinal do homem e de outros animais de sangue quente. A espécie *E. coli* é composta por vários sorotipos, sendo a maioria apenas comensais inofensivos em condições normais. No entanto, alguns isolados são responsáveis por fortes diarreias no homem e outras espécies animais. Enquanto que para adultos geralmente é apenas um inconveniente, em jovens, velhos ou indivíduos desnutridos a infecção pode ter graves consequências.

A infecção causada por *E. coli* é denominada de colibacilose. Esta doença é responsável por significativas perdas econômicas em criações de aves em várias partes do mundo. Segundo SIQUEIRA (1995), a contagem de *E. coli* é utilizada como indicativo das condições higiênicas, sendo que altas contagens significam contaminação fecal e podem indicar a presença de outros patógenos internos.

BHATTACHARYA e TAYLOR (1975) relatam que o nível de presença destes microorganismos na cama de aviário é bastante variável. Dependendo do manejo da cama, da eficiência e do período de retirada de antimicrobianos da ração, do tipo de material absorvente usado no galpão e do número de lotes criados na mesma cama, a população da *Salmonella* e da *E. coli* pode variar de zero a números bastante elevados.

A indústria avícola tem usado diversos produtos antimicrobianos, como promotores de crescimento, de forma contínua e em doses sub-terapêuticas na alimentação dos frangos, tendo um efeito de redução destes patógenos no trato digestivo das aves. Apesar dessa vantagem, esta prática tem selecionado inúmeros microorganismos patogênicos resistentes a estes produtos, que ao serem transmitidos ao homem e aos outros animais, provocam doenças de difícil tratamento terapêutico pela inocuidade de diversos antibióticos. Muitos dos produtos utilizados como promotores de crescimento são os mesmos antibióticos utilizados pela medicina humana. É neste aspecto que reside certamente uma das maiores preocupações da disseminação de patógenos no ambiente. KELLEY, *et al.*, (1998) discutem que esta questão é agravada pelo fato de que bactérias resistentes ao serem eliminadas pelas fezes podem compartilhar plasmídeos de resistência a antibióticos extra-cromossomais (r-plasmídeos) com bactérias nativas e assim podem ser disseminadas a outros animais.

Nos Estados Unidos prevê-se que cerca de 80% dos isolados de *E. coli* de criações animais seja resistente à pelo menos um tipo de antibiótico. Similarmente, acredita-se que isolados de *Salmonella* sejam resistentes a mais de um antibiótico (HAAPAPURO *et al.*, 1997). *Salmonella* é capaz de transmissão interespecífica de r-plasmídeos (GAST, *et al.*, 1988), incluindo transferência de resistência a antibióticos para *E. coli* (JOHNSTON, 1990). Normalmente, em uma população bacteriana “tipo selvagem” aproximadamente 2% é resistente a algum tipo de antibiótico. No entanto, conforme é citado em KELLEY, *et al.*, (1998), acima de 10% dos isolados de populações bacterianas em animais expostos a antibióticos têm se mostrado resistente.

Estes mesmo autores testaram 12 antibióticos de uso comum nos animais e nos humanos em diversas bactérias isoladas da cama de aviário, entre elas *E. coli*. Os resultados mostraram haver uma resistência a múltiplos antibióticos. Neste caso, o uso de um único antibiótico pode influenciar na geração de microorganismos resistentes a vários outros tipos de antibióticos. Este tipo de resistência tem sido estudado na biota do intestino humano. SOUZA (1998) cita que pesquisadores têm verificado que as cepas de bactérias de múltipla resistência são freqüentemente encontradas em pessoas que trabalham na criação animal.

Além de estudos que envolvem a transferência de resistência a antibióticos entre bactérias e os efeitos sobre a criação animal e saúde humana, pesquisadores têm dedicado esforços para entender em que condições e em que níveis ocorre a disseminação destes patógenos, tanto no solo quanto na água quando a cama de aviário e outros resíduos animais são utilizados como fertilizante.

Assim como acontece com a poluição por nutrientes, dois aspectos têm sido evidenciados como sendo responsáveis por aumentarem significativamente a poluição de recursos hídricos por patógenos: a aplicação da cama de aviário superficial e em períodos em que ocorrem muitas chuvas. GIDDENS e BARNETT (1980) verificaram que a quantidade de coliformes fecais transportados pela água de escoamento superficial diminui rapidamente após a primeira chuva. Pela aplicação superficial de cama de aviário, microorganismos patogênicos podem ser transportados em solução/suspensão ou adsorvidos às partículas do solo.

O potencial de poluição de recursos hídricos está intimamente relacionado com a capacidade de sobrevivência dos patógenos no sistema solo-resíduo. REDDY *et al.*, (1981) indicam inúmeros fatores que podem influenciar esta sobrevivência: o tratamento de decomposição do resíduo antes de sua aplicação, umidade do solo, temperatura, cobertura vegetal do solo, luz solar, pH do solo, presença de antibióticos e outras substâncias tóxicas, organismos competidores, disponibilidade de nutrientes, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, método e tempo de aplicação do resíduo e o tipo de solo. Assim, de acordo com estes fatores, podemos encontrar uma enorme variação nas taxas de sobrevivência em trabalhos publicados. CRANE *et al.* (1980), por exemplo, reuniram diversas publicações onde é demonstrado que ocorre inicialmente um grande declínio no número de bactérias quando o resíduo é aplicado superficialmente e a posterior manutenção de baixas populações que pode se estender até alguns meses. No trabalho de BROWN *et al.*, (1980), *E. coli* originária de

aplicações de esgoto humano somente reduziu significativamente sua população em uma área de pastagem após 2 a 3 semanas de exposição. Estes mesmos autores citam BELL e BOLE (1976), que indicam a necessidade de cerca de 50 horas de sol, o que corresponde à aproximadamente 10 dias, para reduzir significativamente a população de *E. coli*.

A sobrevivência mesmo de pequeno número de bactérias pode ser perigosa. HAAPAPURO *et al.*, (1997) relatam que alguns isolados de *Salmonella typhimurium* são altamente infecciosos. Somente 10 células são o suficiente para causar doenças em indivíduos susceptíveis (D'AOUST e PIVNICK, 1976). Estes autores concluem que devido à grande velocidade de multiplicação destes microorganismos uma quantidade elevada de inóculo não é pré-requisito para causar doenças.

CRANE *et al.* (1980) relatam que uma alta umidade devido à irrigação ou a períodos longos de chuva permite melhores condições de sobrevivência destes organismos no solo. Solos arenosos, com menor capacidade de retenção de água reduzem o tempo de sobrevivência, enquanto que baixas temperaturas e solos ácidos, ricos em matéria orgânica aumentam esta taxa. Estas constatações são importantes na utilização da cama como fertilizante em áreas de cultivo de olerícolas, onde geralmente há um bom suprimento de água através da irrigação e a aplicação contínua de cama de aviário aumenta a matéria orgânica no solo. Isto poderá prolongar a sobrevivência de microorganismos patogênicos, criando condições de contaminar, inclusive, os alimentos utilizados para o consumo humano.

Ao atingir os corpos d'água, OLIVEIRA (1993) cita que a *Salmonella* pode multiplicar-se 100.000 vezes na água dos rios com cerca de 100 mg de substâncias orgânicas por litro. Já HENDRICKS e MORRISON (1967) relatam que não só houve manutenção de uma população de bactérias entéricas no sedimento de um rio, mas também multiplicação em algumas épocas do ano. Apesar do cloro adicionado na água eliminar a maioria dos patógenos, em áreas rurais a maioria da água consumida não é tratada, o que pode comprometer a saúde das pessoas.

Com relação ao movimento de microorganismos patogênicos no perfil do solo, além do aspecto da intensidade da chuva, as duas características mais relacionadas ao sistema solo/resíduos responsáveis pela intensidade da contaminação são as propriedades superficiais dos microorganismos (hidrofobicidade e presença de apêndices celulares) e o volume de macroporos do solo.

Com exceção dos fungos e actinomicetos, que podem crescer em poros preenchidos por ar, a população microbiana é restrita à fase líquida e à interface sólido-líquido. O conteúdo de água do solo não afeta somente a movimentação no solo, mas a própria sobrevivência dos microorganismos, com diferentes espécies exibindo considerável variação na habilidade de resistir a altas e baixas umidades.

A característica de solos bem estruturados (alta macro porosidade) é determinante para haver um rápido e intenso transporte de microorganismos pela água no perfil devido a uma baixa interação destes com as partículas do solo. MAWDSLEY, *et al.*, (1995) sugerem que para bactérias bastonetes um diâmetro menor que 1-1,5µm poderia restringir severamente tanto movimento ativo quanto passivo pelos poros, pois a filtração é o principal mecanismo de retenção de microorganismos no solo. A adsorção é outro importante mecanismo de retenção de bactérias pelo solo e torna-se ainda mais importante em solos com alto teor de argila e matéria orgânica. Isto foi verificado em diversos trabalhos (HAGEDORN *et al.*, 1981, REDDY *et al.*, 1981; SMITH, *et al.*, 1985). É nestas situações que as propriedades superficiais do microorganismo apresentam destacada importância. Por exemplo, HUYSMAN e VERSTRAETE (1993) verificaram que transporte de bactérias hidrofóbicas é mais lento do que bactérias hidrofílicas.

HAGEDORN *et al.* (1981) constataram que coliformes e outros microorganismos apenas movem-se alguns centímetros com a percolação da água em solos insaturados e maiores distâncias em condições de fluxo saturado, ou seja, a existência de um filme contínuo de água sobre os sólidos do solo é necessária para uma alta movimentação de microorganismos. Estes autores, reunindo várias publicações, verificaram que o transporte de coliformes fecais variou de 90 cm em areia e cascalho (McMICHAEL e McKEE, 1965) até uma profundidade de 457,2 m em um solo de cascalho grosso (MERRELL, 1967).

Durante um longo período de condições de fluxo insaturado no solo, ocorre uma elevada morte de organismos. No entanto, em boas condições de umidade, microorganismos patogênicos podem sobreviver na água do solo em altos níveis até 32 dias após a introdução do resíduo (HAGEDORN *et al.*, 1981). Estes dados demonstram haver um risco considerável quando materiais contaminados são aplicados no solo.

1.3.3 POLUENTES QUÍMICOS

Até bem pouco tempo atrás, os riscos de contaminação do solo, da água e da vegetação quando associados ao uso de resíduos da produção animal, entre eles a cama de aviário, tinham seu enfoque centrado no potencial de disseminação de patógenos e na poluição por nutrientes. Atualmente são também motivos de preocupação os riscos e impactos ambientais de produtos antimicrobianos utilizados no controle de patógenos e parasitas durante a criação dos frangos, e que podem estar presentes nesses materiais, assim como de seus metabólitos. No caso da cama de aviário, ela contém a principal via de eliminação destes contaminantes, as excreções das aves.

A idéia de que os ecossistemas apresentam uma infinita capacidade de reciclar e absorver os diversos contaminantes aplicados pela cama de aviário, muito em virtude da infalibilidade creditada aos microorganismos, é talvez uma das razões principais para que até o momento não se tenha demonstrado preocupação o suficiente em disciplinar o uso deste e de outros resíduos da produção animal.

A preocupação pelo acúmulo de substâncias químicas no ambiente intensificou-se, principalmente, quando há mais de 40 anos Rachel Carlson publicou seu livro intitulado “Silent Spring”. Neste livro, a autora denunciava os efeitos maléficos provocados pelos agrotóxicos nos ecossistemas.

Desde então, nossa preocupação tem se direcionado também para inúmeras outras substâncias que, assim como os pesticidas, inicialmente foram desenvolvidas com o objetivo de atingir um alvo biológico, mas que uma vez lançadas no ambiente podem ter um destino e conseqüências incertas. Os modos de ação da maioria dos antimicrobianos tanto no organismo de humanos quanto de animais é profundamente entendido, porém é ainda muito pouco conhecido o efeito em organismos receptores não-alvos.

O fato de que atualmente temos um melhor entendimento dos ecossistemas e da importância e funções de seus componentes, tem contribuído para aumentar essa preocupação. Entendemos que eles são às vezes extremamente resiliente e às vezes muito sensível aos nossos impactos. Isto quer dizer que às vezes sintomas de agressão são percebidos rapidamente e outras vezes demoram muito tempo ou jamais são percebidos.

Talvez pela denúncia fêrvida dos efeitos adversos dos pesticidas quando lançados no ambiente feita por Carlson em seu trabalho, estes têm sido os mais pesquisados. Os

antimicrobianos, que em alguns países são utilizados numa quantidade similar aos pesticidas, não têm sido pesquisados com tanto interesse. Mais recentemente uma maior atenção tem sido direcionada para estes tipos de produtos, tanto de uso humano quanto animal, e um crescente número de pesquisas têm sido publicados. Revisões sobre estes assuntos podem ser obtidas em HALLING-SØRENSEN *et al.* (1998) e JJEMBA (2002(a)).

Parece-nos que ao nível de legislação ambiental brasileira esta preocupação ainda não está presente. JJEMBA (2002(a)) comenta que somente a União Européia propôs uma concentração de qualquer composto com ação farmacêutica não podendo exceder 10 µg/kg de solo. Este autor acredita que este valor é aleatório e com pouco embasamento científico. Aliás, com o objetivo de estabelecer limites mais adequados de concentração destes compostos no solo, é que a grande maioria dos trabalhos nesta área tem sido conduzidos nestes países.

Além dos antimicrobianos, também tem sido motivo de preocupação o uso de inseticidas no controle de insetos nas criações avícolas, especialmente os cascudinhos (insetos coleópteros que vivem na cama e causam prejuízos às aves quando ingeridos) bem como os resíduos de produtos que foram utilizados no tratamento da madeira contra cupins e cuja serragem tem sido utilizada como componente do substrato para a cama de aviário. Produtos utilizados no tratamento da madeira têm como característica uma alta persistência, e conseqüentemente podem ainda estar presentes quando a cama é aplicada no solo.

Considerando o grande volume de ração que é produzido anualmente pela atividade avícola, podemos ter uma idéia da quantidade de antimicrobianos que estamos introduzindo anualmente em nossos ecossistemas. A preocupação em torno desses produtos aumenta uma vez que, conforme assinala ADDISON (1984), independente da dosagem, uma estimativa de 75% dos agentes antimicrobianos administrados em confinamentos podem ser excretados e liberados no ambiente. RABØLLE e SPLIID (2000) apontam para valores ainda maiores, cerca de 90%. Além disso, a não detecção de um antimicrobiano na cama de aviário ou no solo ou água, não é prova conclusiva de que ele foi destruído; ele pode existir num outro estado ou forma. Muitos antimicrobianos podem ser parcialmente metabolizados no sistema digestivo da ave e após serem liberados no ambiente pelas excreções. Neste sentido, devemos determinar não somente as propriedades do produto a ser analisado, mas também seus metabólicos intermediários, o que pode ser um trabalho extremamente hercúleo e infrutífero, tanto pelo grande número de metabólicos ou produtos que podem ser gerados pela

degradação, quanto pelo alto custo de se obter padrões e equipamentos com sensibilidade para detectar quantidades muito pequenas.

Um maior conhecimento atualmente é disponível sobre os efeitos e destinos de poluentes em ecossistemas aquáticos em relação ao ecossistema solo. Isto provavelmente reflete a maior dificuldade de análise de poluentes em matrizes complexas, como o solo. Esta tendência, segundo EDWARDS (2002), deve-se ainda ao maior número de métodos de análise disponíveis para avaliação da população de organismos aquáticos.

EDWARDS (1992) observa que devemos considerar inúmeros fatores ao avaliar o grau do impacto de um poluente químico no solo: (i) a toxicidade do poluente a uma grande variedade de organismos; (ii) a persistência do poluente; (iii) a resiliência do sistema em absorver os efeitos de um poluente pode estar ligado à biodiversidade de seus organismos; (iv) o potencial dos organismos do solo em desenvolver resistência ao poluente, depois de repetidas exposições; (v) a estabilidade de um ecossistema pode reduzir os impactos do poluente; o potencial de utilizar organismos alternativos em processos chave, por exemplo, a existência de redundância funcional em organismos do solo podem reduzir os impactos dos poluentes.

Devido a grande complexidade destes fatores, os impactos e destinos de compostos tóxicos podem ser extremamente diversos e difíceis de avaliar, principalmente quando são adicionados ao solo junto com resíduos animais, como a cama de aviário, pois a grande quantidade de nutrientes que são fornecidos aos micro, meso e macroorganismos e plantas pode ocultar um efeito deletério. BAGUER *et al.* (2000) não verificaram nenhum efeito dos antibióticos tilosina e oxitetraciclina na população de três espécies da macro fauna do solo (minhoca, colêmbolo e uma espécie do gênero *Enchytraeids*). Os autores concluíram que as concentrações dos antibióticos eram muito baixas para que seus efeitos pudessem ser detectados.

Conforme citações de JJEMBA (2002(a)), efeitos de substâncias químicas quando possíveis de serem detectados, podem ser de curto prazo, como toxicidade aguda direta aos organismos do solo e da água, com efeitos sobre vários parâmetros da atividade biológica do solo e da água, assim como efeitos de longo prazo pelo acúmulo e ascensão nas cadeias tróficas. Pode ocorrer também uma total inocuidade quando as substâncias são complexadas na matéria orgânica do solo. Considerável importância tem-se dado às substâncias húmicas do solo, pois além de poderem complexar estes poluentes, controlando a persistência,

degradação, toxicidade, biodisponibilidade e mobilidade destes resíduos no solo, elas podem, assim como os colóides minerais do solo, concentrar esses compostos na sua superfície através do mecanismo de adsorção. TOOLS (2001) cita a ação deste mecanismo quando verificou que diversos antimicrobianos se acumularam no solo quando foram feitas aplicações sucessivas de resíduos animais por vários anos.

A persistência de antimicrobianos quando adicionados ao solo pode variar de menos de um dia a semanas, até alguns meses ou até mesmo manter-se intactos por um período indeterminado de tempo. Moléculas neste último caso são denominadas de recalcitrantes. WARMAN e THOMAS (1981) detectaram clorotetraciclina em um solo adubado com esterco de frangos. Mais recentemente, RABOLLE e SPLIID (2000) avaliaram o coeficiente de adsorção e a mobilidade de antibióticos (metronidazole, olaquinox, tilosina e oxitetraciclina) em vários tipos de solo. O coeficiente de adsorção (K_d) é definido como a razão entre a concentração do antibiótico adicionado ao solo e a concentração na solução após o equilíbrio. Os autores deste estudo mostram uma grande variabilidade para estes compostos, variando entre 0,5 e 1,7 para metronidazole e olaquinox, 8 e 128 para tilosina e 417 em solo arenoso e 1026 em solo argiloso para a oxitetraciclina. Uma alta capacidade adsorptiva também foi verificada para os antimicrobianos sulfonamida e tetraciclina. Antimicrobianos com um baixo coeficiente de adsorção apresentam geralmente uma alta mobilidade no ambiente devido, principalmente, a uma alta solubilidade, podendo assim facilmente contaminar recursos hídricos. Já compostos lipofílicos geralmente apresentam baixa mobilidade no ambiente, sendo bioacumulados, acumulados em sedimentos ou retidos pela matriz do solo.

No estudo de CAMPAGNOLO *et al.* (2002) foi detectado resíduos de uma série de antimicrobianos nas águas superficiais e subterrâneas de fazendas com criação intensiva de suínos e frangos. Efeitos tóxicos diretos e agudos de antibióticos sobre a biota e fauna aquática são percebidos principalmente sobre os organismos localizados na base da cadeia trófica. Trabalhos realizados demonstram efeitos sobre a alga *Chlorella pyrenoidosa* (CANTON e VAN ESCH (1978), bactéria luminescente *Vibrio fischeri* (BACKHAUS e GRIMME, 1999) e *Artemia nauplii* (MIGLIORE *et al.* (1997a). WOLLENBERGER *et al.* (2002) testaram diversos antibióticos de uso veterinário, como olaquinox, tilosina, oxitetraciclina, tetraciclina sobre um pequeno crustáceo de água doce (*Daphnia magna*). Eles observaram que efeitos sobre a sobrevivência e reprodução deste crustáceo são verificados em

longo prazo, cerca de duas a três semanas após a contaminação da água, principalmente devido à bioacumulação dos antibióticos em suas fontes alimentares – bactérias e algas.

JJEMBA (2002(a)) comenta que quando acumulados no solo, antimicrobianos podem estar disponíveis à absorção pelas plantas, podendo ou não afetar seu desenvolvimento. Bioacumulação de antimicrobianos em plantas tem sido demonstrado em diversos trabalhos, apesar dos mecanismos de absorção destas moléculas ainda não estarem bem esclarecidos e haver ainda poucas evidências se o acúmulo de antimicrobianos em plantas pode trazer algum dano significativo à saúde dos consumidores.

Efeitos sobre o desenvolvimento de plantas foram verificados em experimentos conduzidos em condições laboratoriais controladas. Nestes experimentos as quantidades de antimicrobianos utilizadas foram inúmeras vezes maiores do que as quantidades que podem estar sendo introduzidas no solo por um resíduo.

A adição no substrato de uma solução contendo 400 ppm de tetraciclina suprimiu a emissão de ramificações de plântulas de amendoim-bravo (*Euphorbia pulcherrima*) (BRADEL *et al.* 2000). Esta supressão foi atribuída à inibição de fitoplasmas, enzimas responsáveis pela ramificação nesta espécie. Concentrações de 300 mg/l de sulfametoxina reduziram o desenvolvimento pós-germinativo de diversas plantas: *Amaranthus retroflexus*, *Plantago major*, *Rumex acetosella* e *Zea mays* quando o efeito foi avaliado *in vitro*, e *Hordeum distichum*, tanto *in vitro* quanto no solo (MIGLIORE, *et al.* 1997(b) e MIGLIORE, *et al.* 1998). Os autores ponderam que o acúmulo de sulfametoxina nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas afetou o crescimento de raízes, hipocótilos e folhas. Desenvolvimento de mudas de soja foi sensivelmente afetado na presença de 500 ppm de metronidazole assim como a densidade de protozoários e bactérias diminuiu 10 vezes na rizosfera (JJEMBA, 2002(b)).

A ação microbiana se é um dos fatores mais decisivos na degradação de substâncias químicas presentes na cama de aviário ou no solo. Se um composto químico é persistente, de duração temporária, ativado ou desativado, irá depender, sobretudo do metabolismo dos microorganismos. Estes resíduos podem ser fragmentados através de um ciclo oxidativo, como o ciclo de Krebs, e serem utilizados pelos microorganismos para seu próprio crescimento e desenvolvimento, podendo dessa maneira, remover a toxidez potencial do composto no ambiente.

A grande maioria das investigações para a detecção de antimicrobianos em cama de aviário é antiga e tinha como principal preocupação os possíveis problemas causados aos animais que a recebiam a cama de aviário como ingrediente na ração. CASWELL *et al.*, (1978) verificaram que substâncias como o amprólio, usado no controle de coccídias, permaneciam na cama de aviário após 47 dias de fermentação nas mesmas concentrações encontradas no início da fermentação (8 a 10 ppm). Já a bacitracina, utilizada com a mesma finalidade, apresentou significativas reduções.

Numa pesquisa mais recente sobre a detecção de antimicrobianos na cama de aviário, SANTOS (2003) verificou níveis de 3,9 ppm de nitrovin mesmo após seis meses de estocagem do material. Um segundo antimicrobiano estudado, olaquinox, já na retirada dos animais do galpão não foi mais detectado.

A grande maioria dos pesquisadores aponta como maior dificuldade na realização de pesquisas que visam a detecção de substâncias químicas em diversas matrizes ambientais, a existência de poucos métodos analíticos capazes de detectar estas substâncias em concentrações ambientalmente relevantes. Assim, o grande desafio para os anos vindouros é desenvolver e validar métodos analíticos que possam determinar baixas concentrações de substâncias, assim como de seus metabólitos nas mais variadas e complexas matrizes ambientais.

No experimento que desenvolvemos, posteriormente descrito, cinco antimicrobianos foram utilizados: salinomicina, lasalocida, enramicina, olaquinox e avilamicina, porém somente para a salinomicina foi desenvolvida uma metodologia de análise em cama de aviário.

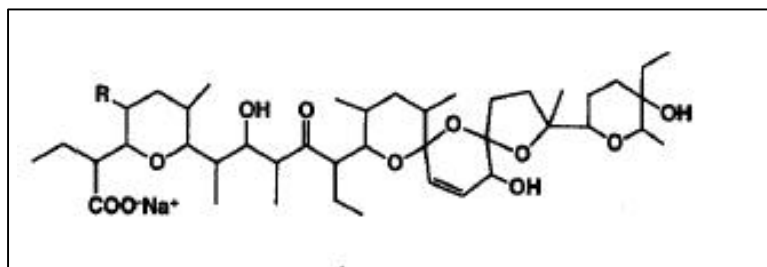
3.3.1 Salinomicina sódica

A salinomicina, conforme citado em SOKOLIC e POKORNY (1991) é um antibiótico ionóforo monovalente carboxil-poliéter amplamente utilizado na produção animal. É uma substância produzida pela bactéria *Streptomyces albus* e apresenta um amplo espectro de atividade biológica contra bactérias gram-positivas e sobre algumas espécies de *Microbacterium*. Apesar de uma maior ação biológica sobre bactérias, a principal aplicação terapêutica da salinomicina na medicina veterinária é no tratamento da coccidiose, sendo responsável por cerca de 40% do mercado mundial deste grupo de fármacos. Nos EUA e no

Canadá, representa cerca de 55% do mercado. Ela é comercializada pela Pfizer Pharm. Inc. sob o nome comercial de Coxistac[®] (um premix contendo 60g de salinomicina sódica por kg), sendo recomendado um nível de uso de 60 ppm na ração de frangos de corte.

Sua ação coccidiostática dá-se pela destruição da membrana celular e lise das células na fase de esporozóide e nos primeiros e últimos estágios do ciclo de vida das eimérias. É usada na prevenção de coccidiose aviária causada por *Eimeria tenella*, *E. necatrix*, *E. acervulina*, *E. maxima*, *E. brunetti*, and *E. mivati* (VAN der KOP e MACNEIL, 1990). O uso deste antimicrobiano é possível também para outras espécies animais (bovinos e suínos) como promotor de crescimento. Com este objetivo, a salinomicina elimina bactérias patogênicas, melhora digestão da proteína, aumenta utilização de nitrogênio e reduz sua eliminação pelas excreções (CABADAJ, *et al.* 2002).

Assim como outros antibióticos poliéteres, a salinomicina possui uma baixa solubilidade em água, mas é muito solúvel em solventes orgânicos polares. Esta característica pode ser em função da sua estrutura cíclica e pelos grupos hidrofóbicos localizados na superfície desta molécula (FIGURA 1).



Fonte: KARNES, *et al.* (1993).

FIGURA 1 - ESTRUTURA QUÍMICA DA SALINOMICINA SÓDICA.

O espectro de absorção de luz na faixa do ultravioleta para a salinomicina mostra uma máxima absorção a 285 nm, mas com baixa intensidade, pois esta molécula não possui um cromóforo ou luminóforo útil (OTAKE, 1983, citado por SOKOLIC e POKORNY, 1991). Devido a esta característica, a salinomicina não pode ser determinada por métodos diretos de espectrofotometria e não é eletronegativa o suficiente para análises diretas em baixas concentrações por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). Como formas para contornar estas limitações, a oxidação pré-coluna com piridínio dicromato (KARNES, *et al.*

1993 e DIMENNA, *et al.* 1986), derivatização pós-coluna com 1-bromoacetilpireno (ASUKABE, *et al.* 1993) e 4-dimetilaminobenzaldeído (FEJGLOVÁ, *et al.* 1994) tem sido descritos. Porém a derivatização pós-coluna com vanilina tem apresentado os melhores resultados (GERHARDT, *et al.* 1995 e AKHTAR, *et al.* 1996). A vanilina, em condições anídricas, forma um composto com a salinomicina que apresenta uma absorção máxima de luz visível no comprimento de onda de 520nm.

Talvez por seu amplo uso na medicina veterinária, inúmeras metodologias de análise da salinomicina por CLAE para diferentes matrizes têm sido descritas. Assim, metodologias de análise foram descritas para extração em ovos (SINIGO e GACNIK, 2001), em tecido animal (GERHARDT, *et al.* 1996) e em plasma de trabalhadores que manuseiam este antibiótico (KARNES, *et al.* 1993). Nessas matrizes a sua detecção tinha como preocupação a presença de resíduos que poderiam causar danos à saúde humana. O único estudo que localizamos na literatura tendo como objetivo detectar a salinomicina em uma matriz sob o ponto de vista da contaminação ambiental é de SCHLUSENER, *et al.* (2003). Estes pesquisadores descrevem uma metodologia utilizando CLAE associado à espectrometria de massa para detecção de salinomicina em solo.

Entretanto, não foi encontrada na literatura uma metodologia para a quantificação dessa substância em cama de aviário, havendo necessidade de validar uma metodologia para este tipo de matriz.

1.4 REDUÇÃO DO POTENCIAL POLUIDOR DA CAMA DE AVIÁRIO

A partir dos problemas associados ao uso da cama de aviário na agricultura, anteriormente discutidos, abordaremos neste tópico algumas formas que possibilitem maximizar seu potencial como fertilizante com redução dos seus efeitos negativos nos ecossistemas. Assim, pretendemos apresentar algumas alternativas que vem sendo usadas pelos agricultores e empresas, e outras que têm sido sugeridas por pesquisadores para diminuir a quantidade de cama de aviário produzida e o seu potencial poluidor.

Uma redução e melhoria significativa da cama de aviário produzida passam necessariamente por mudanças na estrutura do atual modelo de avicultura. Estas mudanças vão desde uma redistribuição da atividade dentro do país e em Santa Catarina, diminuindo a

concentração de aviários em algumas regiões, até mudanças nas dietas dos frangos de corte para reduzir a concentração de nutrientes nas fezes.

O limite máximo de expansão de qualquer atividade numa região deveria considerar a capacidade desta em reciclar os resíduos das diferentes atividades nela desenvolvidas. Este limite seguramente já foi superado em várias locais do estado, como foi demonstrada para o município de Joaçaba. Soma-se a isto o fato de que a avicultura continua a se expandir, principalmente nas regiões onde ela já está altamente concentrada, sem grandes restrições por parte dos órgãos de fiscalização ambiental. Medidas legislativas mais restritivas deveriam ser adotadas ou intensificadas no estado, para que a expansão da atividade também contemplasse o aspecto ambiental.

Órgãos públicos ligados à formulação de políticas ambientais, de um modo geral, não conseguem mostrar muito poder de ação à atual estrutura e modelo de avicultura devido à força das agroindústrias integradoras. Na grande maioria dos municípios onde a avicultura está presente em grande número de propriedades e o retorno da atividade em impostos para o município representa quase todo o orçamento, o poder das prefeituras é suplantado pela força das agroindústrias, cabendo às prefeituras apenas um serviço complementar na atividade, como a manutenção de acessos às propriedades dos integrados, abertura de fontes de água, fornecimento do bloco de produtor rural, entre outros pequenos serviços, mas dificilmente fazem ingerências nas decisões que dizem respeito aos limites de expansão e distribuição da atividade dentro do município. Também na esfera estadual e federal, não tem sido muito diferente. O aspecto que mais se sobressai em se tratando da avicultura industrial é a alta capacidade das agroindústrias em gerar divisas e conseguir competir com êxito no mercado nacional e internacional. Os impactos ambientais da atividade nas regiões produtoras dificilmente são lembrados e interferem timidamente nas novas decisões.

Assim, em curto prazo, é bastante pessimista supor que essa situação possa se modificar. Em longo prazo, caso não mudemos nossa insustentável relação com os ecossistemas, talvez estaremos adotando medidas que outros países já adotaram, como por exemplo, a Holanda. Neste país, onde as consequências ambientais de um modelo de produção animal semelhante ao nosso já há mais tempo começaram a ser percebidas (ou já foram avaliadas), foram introduzidas desde 1984, medidas que restringem a expansão das atividades agrícolas pela produção de resíduos. Parte do pagamento do alto custo de descontaminação das principais fontes de abastecimento de água está sendo repassado aos

proprietários agrícolas que não estão de acordo com a legislação ambiental. Por exemplo, para uma produção de fósforo anual acima de 102,5 kg/ha de terra cultivável proveniente de resíduos animais, o que equivaleria uma criação de 427 frangos/ha, o produtor precisa pagar 2,50 dólares para os primeiros 10 kg de fósforo acima deste valor e 10,00 dólares para cada 5 kg a mais (JONGBLOED e LENIS, 1998). Evidentemente não poderíamos transplantar estas restrições para as nossas condições, mesmo porque na grande maioria das regiões produtoras somente a densidade de frangos de corte superaria estes valores (Joaçaba, por exemplo, tem 1837 frangos de corte/ha de área cultivável), o que inviabilizaria a grande maioria das criações, mas já se deveria pensar em medidas mais restritivas à expansão das criações avícolas e suínolas em Santa Catarina.

O devido tratamento da cama de aviário antes de sua liberação no ambiente, assim como de outros resíduos da produção animal, deveria ser uma exigência rotineira dos órgãos de legislação ambiental. Para que isso se efetivasse, precisaríamos inicialmente criar uma legislação federal específica para o uso de resíduos da criação animal na agricultura, o mesmo valendo para resíduos urbanos como lodo de esgoto e lixo orgânico, estabelecendo limites quantitativos e qualitativos de uso. O Ministério da Agricultura e Abastecimento só possui uma legislação específica para corretivos, fertilizantes minerais e orgânicos e inoculantes, sendo omissa com relação ao uso e comercialização de resíduos animais. Com relação aos fertilizantes orgânicos e corretivos de estrutura e condicionadores de solo, a legislação é bastante simplificada.

Além do aspecto da distribuição geográfica da atividade, devemos tentar produzir rações que permitem uma melhor digestão e absorção de nutrientes pelos animais, o que faz com que as dejeções sejam menos ricas em nutrientes (de acordo com o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1998) 45-60% do nitrogênio, 50-80% cálcio e fósforo e 70-95% dos demais nutrientes são eliminados pelas aves). Diminuição das excreções de nitrogênio é conseguida com a formulação de rações balanceadas não só para proteína total, mas principalmente para requerimentos mínimos e para digestibilidade de aminoácidos. Deve-se selecionar ingredientes da ração com baixa variabilidade na composição para diminuir a margem de erro na formulação de proteína e aminoácidos. Deve-se procurar usar enzimas para aumentar a digestibilidade e absorção de nutrientes, como a fitase usada para aumentar a digestão do fósforo, formular rações mais energéticas, fazer restrição alimentar no estresse calórico e melhorar as condições sanitárias e ambientais estressantes. Discussões dessas e

outras opções podem ser obtidas em JONGBLOED e LENIS (1998), PAIK (1999) e ZANELLA (2001).

Dependendo das condições ambientais e de manejo, a mesma cama poderia ser usada por vários lotes de frangos, prática já adotada por inúmeras empresas avícolas. Esta prática, além de reduzir o volume de cama produzido, traz a vantagem de reduzir a sobrevivência de *Salmonella* na cama devido à competição existente com outros microorganismos (FANELLI *et al.*, 1970 e OLESIUK *et al.*, 1971). Porém, esta técnica aumenta consideravelmente o número de oocistos de eimérias (COSTA e ÁVILA, 1996).

Algumas possibilidades que permitem melhorar a qualidade da cama de aviário estão sendo lentamente adotadas por empresas integradoras e por agricultores. A substituição gradual dos antimicrobianos, de modo especial os coccidiostáticos e os promotores de crescimento por produtos que não deixam resíduos tanto na carcaça dos animais quanto nas fezes, como as vacinas, probióticos, prebióticos, enzimas e ácidos orgânicos, poderá aumentar a confiança da aplicação da cama de aviário como fertilizante do solo, principalmente por agricultores da Agricultura Orgânica. Além disso, a substituição dos promotores de crescimento por estes produtos elimina a disseminação de microorganismos resistentes a antibióticos.

É plenamente compreensível e natural que a introdução ou uma maior adoção destas medidas ocorrerá lentamente, mesmo porque algumas medidas ainda são antieconômicas e são necessários ainda inúmeros estudos para aprimorá-las e verificar sua viabilidade. Existem algumas medidas, no entanto, que podem ser adotadas pelos agricultores, dentro de sua propriedade e que possibilitam melhorar a qualidade da cama de aviário. O tratamento da cama antes de sua utilização como fertilizante através de um tratamento de decomposição³ é uma das mais importantes. A possibilidade de eliminar microorganismos patogênicos e degradar possíveis resíduos de compostos tóxicos é citada por vários autores (WEBB e FONTENOT, 1975; EDWARDS e DANIEL, 1992, ORTOLANI e BRITO, 2001 e SANTOS, 2003).

As transformações que ocorrem com a cama de aviário quando ela é submetida a um tratamento de decomposição, assim como as vantagens e desvantagens desse processo, serão discutidas com maior profundidade no próximo tópico.

³ Sempre que for usado o termo decomposição, estaremos nos referindo ao tratamento de decomposição da cama de aviário antes de sua aplicação no solo. A decomposição da cama no solo, quando for usada, será especificada.

1.4.1 A DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO

A utilização de um processo de decomposição da cama de aviário antes de sua aplicação no solo permite, em determinadas condições, a transformação biológica da matéria orgânica em compostos inorgânicos e num estado em que ela apresenta, ao mesmo tempo, uma elevada qualidade como fertilizante e com menores impactos negativos ao ambiente. Este processo de decomposição é mais comumente conhecido pelos agricultores por fermentação, pois quando a cama é amontoada pela necessidade de limpeza dos aviários, geralmente é feita em grandes quantidades e neste caso há predomínio de um ambiente anaeróbio durante a decomposição do material. Já quando a cama recebe uma maior aeração pelo revolvimento ou pela adição de materiais que aumentam as trocas gasosas, o processo é comumente denominado de compostagem. Em ambos os processos, o produto resultante da decomposição apresenta características físicas, químicas e biológicas diferentes das do material que lhe deu origem devido as inúmeras transformações físico-químicas, desencadeadas principalmente pelos microorganismos.

A prática da decomposição apresenta a grande vantagem de poder eliminar microorganismos patogênicos e resíduos de substâncias químicas pela ação do binômio temperatura e tempo de exposição, pelo papel bactericida da amônia liberada, pela ação de antibióticos produzidos por alguns microorganismos e a competição microbiana. Este último fator é um importante fator no controle de patógenos na compostagem. A comunidade de microorganismos naturalmente encontrada na cama, também chamada de indígena ou nativa, é muitas vezes superior a dos patógenos, resultando numa ação de alto antagonismo e de intensa competição por nutrientes, sendo os patógenos desfavorecidos nesta disputa.

Mesmo que a prática da decomposição tenha sido exitosa na melhoria sanitária da cama de aviário, precisa-se considerar que isto, no entanto, não assegura que o produto esteja isento de causar problemas ambientais e não exime o agricultor da responsabilidade que ele tem em manuseá-la adequadamente quando for usá-la para aplicar na lavoura. A disponibilidade de nutrientes do resíduo e do solo, as necessidades nutricionais das culturas, as características topográficas e as condições climáticas no momento da aplicação continuam sendo critérios imprescindíveis que devem ser respeitados para evitar a contaminação ambiental. A decomposição teria a finalidade de diminuir o já alto potencial da cama de

aviário de causar algum impacto ambiental negativo. E como veremos, maneiras variantes em fazer este tratamento podem determinar diferentes características do produto final.

O manejo que é dado à cama de aviário varia de acordo com as normas das agroindústrias as quais os agricultores estão integrados, assim como de agricultor para agricultor. Uma das práticas usadas pelos agricultores na hora de limpar os aviários é a retirada e o ensacamento ou amontoamento da cama de aviário num galpão ou na lavoura em pilhas, cobrindo-as com uma lâmina de polietileno (popularmente conhecida por lona plástica) para evitar a infiltração da água da chuva. Ao fazer isso, a cama intensifica seu processo de decomposição e quando o agricultor detecta a redução da temperatura nas pilhas, considera terminada a decomposição. Nessas condições, ele a aplica no solo ou então a comercializa. A decomposição da cama de aviário inicia-se já no momento em que ela é disposta no aviário, mas a velocidade das reações é baixa, intensificando-se mesmo quando ela é amontoada.

Existe uma grande discussão entre os agricultores integrantes da Agricultura Orgânica e as empresas que certificam este tipo de agricultura com relação ao uso da cama de aviário como fertilizante. Enquanto agricultores defendem seu uso na produção e apresentam um uso preferencial por este tipo de resíduo orgânico para aumentar a fertilidade de seus solos, as certificadoras apresentam inúmeras restrições. De um modo geral, as certificadoras utilizam como referência a Instrução Normativa 007, de 17 de maio de 1999 do Ministério da Agricultura e Abastecimento (BRASIL, 1999). De acordo com essa instrução, *“o uso desse resíduo só é permitido após sua devida fermentação e desde que não apresente substâncias tóxicas”*, porém a norma não apresenta nenhum detalhamento de como deveria ser essa fermentação, sua duração, nem mesmo o que seriam as substâncias tóxicas. A partir dessa instrução, as empresas certificadoras criaram orientações específicas para o uso desse resíduo nas propriedades, como é o caso da Associação de Agricultura Orgânica, sediada em São Paulo, (ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTURA ORGÂNICA, 2002), e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural Sustentável de Santa Catarina (FUNDAGRO, 1999). Esta última exige, por exemplo, que os agricultores deixem a cama em fermentação por 180 dias antes de sua utilização como fertilizante. Outras empresas, como por exemplo, a Associação de Agricultores das Encostas da Serra Geral proíbem incondicionalmente seu uso (AGRECO, 2003, comunicação pessoal).

A maioria das orientações prestadas por empresas certificadoras da Agricultura Orgânica, no entanto, não apresenta devida comprovação científica, restringindo-se apenas a especulações. Isto é reconhecido por elas. Ao recomendarem a não utilização ou então um tratamento por um período de tempo extremamente longo, as empresas adotam uma posição de precaução para evitar problemas que poderiam ser ainda maiores se esta precaução não fosse tomada.

Já para os agricultores que exportam alimentos orgânicos para a Europa, geralmente precisam seguir as orientações da CEE N° 2092/91 de 24 de Junho de 1991, criada pelo Conselho Econômico Europeu e que regulamenta a produção, elaboração, rotulagem e comercialização de produtos orgânicos de origem vegetal e animal. Esta norma é um pouco mais clara e detalhada quanto ao uso deste resíduo. Ela prevê e permite o uso da cama proveniente da avicultura convencional, sendo que necessariamente ela seja submetida a um processo de fermentação. Além disso, ela restringe seu uso quando no sistema de criação os animais são criados em condições de estresse como, por exemplo, quando são privados de cama de palha e/ou são mantidos no escuro e/ou estão na maior parte do tempo impedidos de se movimentarem livremente em 360°. Isto ocorre em sistemas de criação de galinhas poedeiras em bateria e unidades de terminação de frangos de corte cuja densidade é superior a 25 kg de peso vivo por m². Uma outra exigência da norma européia é de que o material orgânico utilizado para absorver a umidade na cama de aviário, geralmente cepilho de madeira (maravalha), não tenha sofrido nenhum tratamento anterior com produto químico (COMUNIDADE EUROPÉIA, 1992). Porém, apesar de especificar inúmeros aspectos, principalmente quanto à origem da cama de aviário, a norma européia carece da mesma insuficiência de informações que a norma brasileira nos aspectos concernentes ao processo de decomposição.

Em algumas situações, a cama de aviário é aplicada no solo sem que tenha sido submetida a um processo de decomposição. Isto geralmente ocorre quando o agricultor não dispõe de espaço para estocagem, o período de limpeza do aviário coincide com o preparo do solo e plantio das lavouras, ou o agricultor desconhece ou não considera a decomposição da cama de aviário uma medida importante na redução dos riscos de contaminação ambiental.

Para que possamos fundamentar a necessidade do tratamento de decomposição da cama de aviário, precisamos entender as principais transformações que ocorrem durante este processo.

O tratamento de decomposição de uma cama de aviário tem grandes similaridades com os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, mas ao mesmo tempo, apresenta características únicas. A principal diferença entre os processos que ocorrem com a cama de aviário e os processos que ocorrem no solo está associada a uma matriz preponderantemente orgânica na cama de aviário. A atividade metabólica por unidade de volume é muito maior na cama de aviário do que na matriz solo como consequência da densidade de substrato. O resultado disso é que a magnitude das variações de umidade, temperatura, população microbiana, concentração nutricional, entre outras variáveis, são bem mais fáceis de serem detectadas na cama de aviário do que no solo. Além disso, no solo os fatores físicos como temperatura, umidade e densidade são consideravelmente afetados pelas mudanças ambientais do exterior, enquanto que em pilhas de decomposição a variação destes fatores são consequência principal de eventos que ocorrem internamente.

A decomposição dos compostos orgânicos da cama de aviário é dependente de inúmeros fatores, os quais a aceleram ou a retardam. Dentre estes fatores, destaca-se a taxa de oxigenação (aeração), a temperatura do ambiente, a umidade, o tamanho das partículas e a concentração de nutrientes. Estes fatores condicionarão o tipo de processo metabólico da oxidação da matéria orgânica predominante e, conseqüentemente, a quantidade de energia liberada dessas reações e a quantidade de nutrientes perdidos.

A oxidação de qualquer componente orgânico que possui um elevado nível de energia sempre é acompanhada pela redução de uma outra substância, a qual possui um menor nível de energia, ocorrendo assim uma transferência de elétrons da substância doadora (que se oxida) para uma substância receptora (que se reduz). De acordo com a natureza do receptor final de elétrons usado em reações de óxi-redução, os processos metabólicos podem ser classificados em três grupos principais: a respiração aeróbia, a fermentação, e a respiração anaeróbia.

Numa pilha de decomposição poderemos encontrar os três processos atuando concomitantemente e ao conjunto das transformações e reações destes processos dá-se o nome de atividade biológica. Ela é resultante da atividade de enzimas, que no início da decomposição da cama de aviário estão presentes pela eliminação nas fezes das aves e, posteriormente, são produzidas pelos microorganismos.

A respiração aeróbia é o processo preponderante no início da decomposição da cama de aviário pelas maiores concentrações de oxigênio, o qual é o receptor de elétrons durante as

reações. A primeira fase da respiração aeróbia envolve a conversão de constituintes orgânicos complexos, incluindo proteínas, carboidratos, ácidos nucleicos e lipídios em glicose, ácidos orgânicos, ácidos graxos, álcoois e aminoácidos livres, entre outros produtos. Esta primeira conversão é comumente referida como uma transformação ácida pela redução do pH do material. Uma segunda fase envolve a conversão dos produtos hidrolizados a gás carbônico (CO_2), em novos produtos e a liberação de nutrientes. Uma alta produção de formas nitrogenadas amoniacais – amônia (NH_3) e amônio (NH_4^+) - eleva sensivelmente o pH do material pela retenção de prótons hidrogênio (H^+). Posteriormente pela redução das formas nitrogenadas a nitrato (NO_3^-), haverá novamente uma fase ácida pela liberação de H^+ .

Devido a uma intensa decomposição dos compostos orgânicos durante a respiração aeróbia, ou seja, uma intensa atividade biológica, há uma grande liberação de energia dos compostos orgânicos, tanto na forma de calor (temperaturas podem chegar até $70\text{-}80^\circ\text{C}$), ou que é então transferida para compostos fosfatados (ADP/ATP) e dinucleotídeos (NAD^+/HADH e FAD/FADH) oxidados, onde é armazenada como elétrons nestes compostos.

É durante a respiração aeróbia que as altas temperaturas estarão agindo na redução ou eliminação de patógenos e substâncias químicas e, quanto mais prolongada for a ação das altas temperaturas, mais efetiva poderá ser a redução/eliminação dos contaminantes. Apesar dessa vantagem, ocorre uma perda excessiva de nitrogênio pela volatilização de amônia e de carbono pelo gás carbônico formado. Além disso, quando se prolonga a aeração das pilhas pelo revolvimento manual, o que caracterizaria o processo de decomposição de compostagem, a sua condução torna-se uma tarefa bastante laboriosa.

Após a respiração aeróbia, o processo metabólico que geralmente predomina é a fermentação. Os compostos que não foram oxidados na respiração aeróbia ou os compostos intermediários formados são utilizados por microorganismos e, em condições anaeróbias, parcialmente oxidados. Neste processo, há liberação de apenas parte da energia contida no composto original, e os produtos finais das reações ainda apresentam uma considerável concentração em energia. Assim, após um pico de temperaturas elevadas durante a respiração aeróbia, verifica-se uma diminuição na produção de calor com a redução das temperaturas. Costumeiramente diz-se que a pilha “esfriou”.

Na fermentação, pela ausência de receptores externos de elétrons (oxigênio), os receptores são gerados intracelularmente nas moléculas em degradação. Os fermentadores primários produzem monômeros diversos: ácidos propiônico, butírico e acético, succinato,

tanol, butanol e lactato, enquanto os secundários oxidam estes compostos em outros mais simples, como H_2 , CO_2 e HCO_2 , $CH_3 - R$ e acetato e metano (CH_4). As bactérias produtoras de metano, de grande interesse na produção de biogás, são chamadas de metanogênicas, e são anaeróbias obrigatórias. Para seu bom desenvolvimento, necessitam de condições de umidade que geralmente a cama de aviário não oferece.

Como produtos finais da fermentação tem-se também a formação de mercaptanas da desaminação parcial de aminoácidos sulfurados. Exemplos destes compostos incluem o dimetildisulfeto, dimetilsulfeto e metilmercaptanas, além de outros produtos contendo enxofre, todos de odor desagradável.

O terceiro processo metabólico presente numa decomposição é a respiração anaeróbia. Este processo é caracterizado por reações de óxi-redução de compostos orgânicos em que os receptores de elétrons são os íons nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}), sendo o processo muito semelhante ao que ocorre na respiração aeróbia. O nitrato é o mais facilmente usado e durante o processo é reduzido a nitrito (NO_2^-), e nos gases óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio atmosférico (N_2). Este processo, chamado de desnitrificação, é intermediado por microorganismos facultativos, ou seja, que também são capazes de utilizar oxigênio como receptor de elétrons. Nesta segunda opção metabólica, chamada de redução assimilatória, o nitrato é novamente convertido em amônio. Pelo maior potencial de redução do oxigênio, a energia obtida utilizando-se nitrato como receptor de elétrons é cerca de 10% inferior a que se obteria usando-se oxigênio. No entanto, o processo representa uma alternativa que pode permitir a sobrevivência do microorganismo quando o ambiente se torna anaeróbio.

O sulfato também pode ser usado como receptor de elétrons por algumas bactérias durante a respiração anaeróbia. Durante a redução dos sulfatos é formado o gás ácido sulfídrico (H_2S) que também apresenta um odor extremamente desagradável.

Muitos dos compostos produzidos durante a fermentação apresentam toxidez às plantas. MOREIRA e SIQUEIRA (2002) citam que os ácidos propiônico e butírico mesmo em baixas concentrações (5mM) podem inibir o crescimento de raízes de várias espécies. HAUG (1993) e MILLER (1992) citam também o mesmo efeito para o ácido acético e para a amônia. As maiores concentrações desses compostos ocorrem geralmente nos primeiros dias da decomposição, quando também são verificadas as mais elevadas temperaturas das pilhas. Aplicação da cama no solo nestas condições pode afetar severamente as plantas, as quais ficam “queimadas” nas regiões onde a cama entra em contato.

A umidade exerce um papel importante na decomposição da cama de aviário. Para KELLEHER *et al.* (2002), uma umidade em torno de 40 a 60 % é tida como ideal para prolongar a decomposição. Já uma umidade maior que 75%, inibe o início do processo de decomposição.

O aumento da temperatura é a primeira e uma das principais indicações de que a cama de aviário iniciou a decomposição. Altas temperaturas são um bom indicador de uma alta intensidade e velocidade de decomposição do material orgânico, ou seja, elevada atividade biológica. BAKSHI e FONTENOT (1998) registraram a temperatura máxima de 65°C no sétimo dia de fermentação numa profundidade de 45 centímetros em pilhas de cama de aviário. ATKINSON *et al.* (1996) verificaram que a temperatura em pilhas de cama de aviário posta para fermentar aumenta rapidamente. Depois de um período de 20 horas do início da decomposição foram verificadas temperaturas de 55°C, as quais se mantiveram até 16 dias, quando lentamente começaram a reduzir.

Perdas de calor de uma pilha de decomposição para a atmosfera podem acontecer através de dois mecanismos: pela perda de vapor d'água e pela transferência de calor sensível. MacGREGOR *et al.* (1981) calcularam que aproximadamente 90% do calor removido foi através do vapor d'água e somente 10% pelo segundo mecanismo.

1.4.1.1 Redução/eliminação de patógenos na decomposição

Uma grande variação nos tempos de sobrevivência de patógenos na cama de aviário é verificada nos trabalhos já realizados, tanto durante o tratamento de decomposição ou posteriormente no solo quando o material é aplicado. De um modo geral, a exposição à temperaturas acima de 55°C por alguns dias é suficiente para eliminar a *Salmonella* e a *E. coli*. DAVIS (2002) verificou que temperaturas de 51 a 59 °C durante 21 dias, quando cama de aviário foi estocada em condições anaeróbias, as quais criaram um ambiente inóspito para a sobrevivência de *Salmonella* e *E. coli*. *E. coli* de uma contagem inicial de $1,55 \times 10^4$ bactérias/grama de cama, não foi mais presenciada após quatro semanas de decomposição (BAKSHI e FONTENOT, 1998). CASWELL *et al.* (1978) relatam que houve um decréscimo de 10^3 UFC/g para 240 UFC/g de *E. coli* em uma cama de aviário estocada em condições anaeróbias.

HAAPAPURO *et al.*, 1997 citam alguns trabalhos em que *Salmonella* e *E. coli* sobreviveram somente 10 dias em cama de aviário sob condições de decomposição anaeróbia. Porém citam também trabalhos em que houve sobrevivência de até 11 semanas. Da mesma maneira, SCHOCKEN-ITURRINO *et al.*, (1996) e JEFFREY *et al.* (1998) verificaram que um período muito curto de decomposição (42 dias e 28 dias, respectivamente), não foi suficiente para eliminar totalmente a *E. coli*, recomendando um período maior de estocagem do material.

Numa tentativa de aumentar o pH da cama e com isso também a concentração de amônia para acelerar a eliminação de *E. coli*, JORGE *et al.* (1990) adicionaram calcário dolomítico (10% em relação à massa de cama) no início de um ciclo de produção de frangos de corte de 35 dias. Foi verificado um discreto aumento nos valores de pH durante o experimento (média de 0,3 unidades), o que não provocou diferenças significativas no número de *E. coli* em relação ao tratamento sem calcário ($4,45 \times 10^7$ e $4,85 \times 10^7$, respectivamente). Os autores desaconselham o uso deste produto por não terem obtido o resultado esperado. Além disso, caso houvesse uma elevação do pH, maiores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia poderiam ocorrer.

Algumas empresas que utilizam a mesma cama por lotes seguidos exigem que os agricultores façam uma fermentação durante o vazio sanitário entre lotes com a finalidade de reduzir, ou até mesmo eliminar, microorganismos patogênicos. Um dos alvos desta prática seriam os oocistos das eimérias. De acordo com o trabalho de COSTA e ÁVILA (1996), em que a cama de aviário foi posta a fermentar, com e sem cobertura com polietileno durante uma sequência de quatro vazios sanitários (12 dias de duração), não se verificou uma tendência clara na redução da contagem do número de oocistos em relação aos tratamentos em que a cama foi apenas revirada. Esta alta taxa de sobrevivência dos oocistos é atribuída à sua alta resistência às condições ambientais adversas.

1.4.1.2 Redução/eliminação das perdas de elementos durante a decomposição

Uma desvantagem do tratamento de decomposição de um resíduo antes de ser aplicado no solo é a perda de elementos, principalmente de nitrogênio volatilizado na forma de amônia e carbono perdido na forma de gás carbônico e metano. Parte dessas perdas poderiam ser evitadas com a aplicação da cama de aviário fresca, ou seja, a aplicação logo após sua retirada

do aviário, antes de ser estocada e sofrer uma decomposição. Isto, porém, como discutimos anteriormente, apresenta como limitação os riscos de contaminação dos ecossistemas por patógenos e outros contaminantes.

Pesquisadores têm observado grandes variações nas quantidades de elementos perdidos quando a cama de aviário é exposta a uma maior (compostagem) ou menor oxigenação (fermentação). Com uma maior oxigenação do material ocorre o predomínio da respiração aeróbia e com isso aumenta a velocidade das reações da cama de aviário e uma maior quantidade de elementos podem ser disponibilizados e perdidos. KIRCHMANN e LUNDVALL (1998), num experimento conduzido em laboratório, verificaram que na compostagem houve uma perda de 77% do nitrogênio total, enquanto na fermentação as perdas foram de somente 7,5%. Após o experimento em laboratório, os dois materiais foram aplicados superficialmente num solo. Resultados desta segunda etapa mostraram que a cama compostada apresentou 3,3% de perdas enquanto 32% do nitrogênio total volatilizou do material fermentado. Mesmo que as perdas quando a cama fermentada foi aplicada no solo tenham sido maiores, o nitrogênio total, após as duas etapas, continuou sendo maior para o material compostado.

ATKINSON *et al.* (1996) verificaram que 90% da amônia volatilizada ocorreu nos primeiros oito dias de 28 dias de compostagem. Perdas de nitrogênio de até 58% também foram registradas por TIQUIA e TAM (2002) quando pilhas de cama de aviário foram aeradas artificialmente durante 168 dias.

AMON *et al.*, (1997) mediram o efeito de compostagem e estocagem anaeróbia de esterco de vacas bovinas na emissão de amônia, óxido nitroso e metano. Emissões de amônia foram três vezes maiores e as emissões de óxido nitroso foram 50% maiores para o resíduo compostado em relação à estocagem anaeróbia. No entanto, perdas de metano foram duas vezes maiores para esterco bovino estocado anaerobicamente.

Um aspecto muito importante que diz respeito à quantidade de nutrientes que podem ser perdidos é a relação carbono/nitrogênio (C/N) disponível aos microorganismos durante o processo de decomposição da cama de aviário. A relação C/N que estabelece uma adequada decomposição de qualquer composto orgânico sem que ocorram muitas perdas de nutrientes é entre 15 e 25. De acordo com WITTER e LOPEZ-REAL (1988) estas perdas são tão mais significativas quanto maior é a disponibilidade de nitrogênio facilmente degradável, como é o caso do ácido úrico das fezes dos frangos de corte, em relação a uma fonte de carbono de

lenta decomposição, como por exemplo, resíduos de madeira. Durante a decomposição da cama de aviário o ácido úrico é rapidamente convertido em formas amoniacais e, como não há grande disponibilidade de carbono para ser assimilado pelos microorganismos, principalmente quando o material usado como absorvente é a maravalha, ocorre a formação de um excesso de nitrogênio na forma de amônia, que então é perdido para a atmosfera. O carbono total da cama de aviário pode até ser elevado, mas é necessária uma fonte de carbono rapidamente assimilável pelos microorganismos para evitar que grande quantidade de ácido úrico seja rapidamente convertido em amônio e amônia e então passível de volatilizar. A maravalha não permite isso, pois ocorre um grande retardamento da degradação devido à presença de lignina entre as fibras de celulose, o que diminui a área superficial disponível ao acesso fácil à celulose de bactérias e suas enzimas. A lignina, citada por HAUG (1993), apresenta um índice de degradação muito baixo, e neste tipo de material ela corresponde à cerca de 10 a 20% do peso total.

ATKINSON *et al.* (1996) argumentam que se o carbono da cama de aviário não é degradado durante o período da decomposição e grande parte do nitrogênio é perdida por volatilização, a aplicação da cama no solo pode resultar em imobilização do nitrogênio do solo pelos microorganismos, pois estes precisam deste nutriente para poder degradar a grande quantidade de carbono adicionado com a cama. Consequentemente, menor quantidade de nitrogênio estará disponível para o crescimento das plantas durante esta fase.

SIEFFERT (2000) discute que perdas de nitrogênio que ocorrem durante a decomposição podem ser reduzidas pela cobertura do material com polietileno. A cobertura contribui também para que na superfície da pilha o calor seja retido e ajude na eliminação de patógenos.

Comparando pilhas de cama com e sem cobertura de polietileno durante 60 dias de decomposição, ambas sem revolvimento, DELGADO *et al.* (1998) observaram que a cobertura proporcionou um teor de nitrogênio 27% maior em relação ao material que apenas foi amontoado sem cobertura. Já WILLIAMS e NIGRO (1997) citado por NICHOLSON *et al.*, (2002), estudaram o efeito da cobertura nas emissões de amônia e metano de resíduos de esterco suíno e de bovinos em estudos em laboratório e a campo. No laboratório, emissões de amônia foram reduzidas a 80 e 75%, respectivamente para bovinos e suínos. Emissões de metano foram reduzidas pela metade. A campo, a cobertura reduziu as emissões de amônia

em 68%, mas emissões de metano foram muito variadas para evidenciar qualquer efeito significativo da cobertura.

Além da cobertura do material durante a decomposição, inúmeros produtos (sulfatos de ferro, sódio e de alumínio, ácidos, fosfatos, entre outros) também são sugeridos para serem adicionados com a função tanto de diminuir as perdas de nitrogênio quanto acelerar/aumentar a eliminação de patógenos. O princípio de ação destes produtos se baseia na redução do pH do material, criando condições desfavoráveis para as bactérias patogênicas. Este efeito também contribui para reduzir o número de bactérias amonificadoras e pode também afetar as enzimas responsáveis pela transformação do ácido úrico em amônio e amônia. Outro modo de ação é a combinação destes produtos adicionados com o amônio formado e assim evitando sua perda por volatilização.

De acordo com IVANOV (2001), em um ambiente ácido o crescimento de bactérias amonificadoras é inibido, e quando o pH está abaixo de 5,0, há condições desfavoráveis para o crescimento de *Salmonella*. Liberação de amônia começa a ser significativa em pH acima de 7,0. Como produtos, este autor sugere a utilização de sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$, sulfato férrico $[Fe_2(SO_4)_3]$, sódio bissulfato $[NaH(SO_4)_2]$, ácido acético e fosfórico e também antibióticos. Além destes, MOORE *et al.* (1995) citam o uso de superfosfato, ácido propiônico e sais de magnésio. Estes autores verificaram que a adição de 2 kg de sulfato de alumínio/10 Kg de cama de aviário foi a técnica mais eficiente na retenção de nitrogênio após 42 dias de fermentação (as perdas foram 99% menores no tratamento com sulfato de alumínio).

KITHOME *et al.*, (1999), durante compostagem de cama de aviário, usaram cloreto de cálcio ($CaCl_2$), sulfato de cálcio – gesso ($CaSO_4$), cloreto de magnésio ($MgCl_2$), sulfato de magnésio ($MgSO_4$) e sulfato de alumínio em quantidades que variaram de 20 – 38% do volume de cama. Perdas de nitrogênio das pilhas sem a adição de produtos durante 49 a 56 dias de decomposição por volatilização de amônia variaram de 47 a 62% do nitrogênio inicial. Todos os produtos reduziram as perdas de nitrogênio de 30 a 50%.

Em todas essas pesquisas, a redução do pH proporcionada pela adição de produtos acidificadores foi considerada a responsável pela significativa redução das perdas de nitrogênio. Apesar desses benefícios, as altas quantidades que foram utilizados e a dificuldade de acesso podem inviabilizar e assim desencorajar os agricultores de utilizar estes produtos. Além desses aspectos, é muito importante considerar que o aumento da concentração de

alguns elementos na cama de aviário, como o alumínio e o sódio pela adição de sulfatos e fósforo pelo superfosfato, pode ter um efeito negativo maior, pela poluição ambiental, do que a vantagem proporcionada pela redução das perdas de nitrogênio. O fósforo, aliás, como já foi discutido anteriormente, é o nutriente que já se encontra numa alta concentração na cama e aviário e é o nutriente que primeiramente limita elevadas aplicações deste resíduo.

No Brasil, a adição de aditivos em cama de aviário é ainda um assunto pouco estudado e uma prática pouco adotada pelos agricultores e recomendada pelas empresas. De todos os produtos anteriormente citados, o gesso é quem tem recebido uma maior atenção e, provavelmente de todos, seria o produto de mais fácil acesso aos agricultores. Com relação a sua eficiência em diminuir as perdas de nitrogênio, pesquisadores têm obtido resultados contraditórios com relação à eficiência e doses por aplicar.

SAMPAIO *et al.* (1999) verificaram reduções de 40 e 16% nas quantidades de amônia volatilizada com a adição de 40 e 10% de gesso/massa de maravalha, respectivamente, misturadas na cama no início do ciclo de criação de frangos de corte. GLÓRIA, *et al.* (1991) observaram uma redução de 39% nas perdas de nitrogênio em esterco de frangos com a adição de 50Kg de gesso/tonelada de esterco com 30 dias de estocagem das pilhas. A reação do amônio (NH_4^+) com o grupo sulfato (SO_4^-) proveniente da dissociação do gesso formando sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) seria responsável pela retenção de nitrogênio segundo estas duas pesquisas. No entanto, o efeito benéfico proporcionado pelo gesso na retenção de nitrogênio não foi verificado por NEME *et al.* (2000). A mistura de 43% de gesso durante o início do ciclo de criação dos animais não proporcionou concentrações maiores de nitrogênio na cama produzida, apesar de ter sido verificada uma redução no pH da cama misturada com gesso (8,11) em relação à cama que não recebeu este produto (8,96).

WYATT e GOODMAN (1992) verificaram que na cama onde foi adicionado gesso, o teor de umidade era menor em relação à cama sem gesso e, assim, o ambiente com menor umidade poderia diminuir a ação de bactérias amonificadoras e uma maior aeração favorecer a atuação de bactérias nitrificadoras, diminuindo as perdas por volatilização da amônia formada. Estes pesquisadores discutem também que quando a cama de aviário apresenta uma alta matéria seca, praticamente não ocorre a solubilização do gesso, sendo este produto inócuo na redução do pH. O efeito do gesso sobre a umidade também foi verificado por DELGADO *et al.* (1998), o que pode ter contribuído para um teor de nitrogênio 34% maior em relação à cama que não recebeu gesso após 60 dias de fermentação. Nesta pesquisa o gesso foi

adicionado no início do ciclo de produção dos frangos de corte e em seguida o material foi amontoado sem nenhuma cobertura. A influência do gesso no pH do material não foi medida nestas duas pesquisas.

PROCHNOW *et al.* (2001) sugeriram que a acidez residual do gesso, proveniente de ácidos remanescentes da extração de superfosfato de rochas fosfáticas, poderia ser o fator inibidor da volatilização de amônia. Isto seria possível pela reação da amônia com o H^+ livre, formando amônio (NH_4). Porém, ao testarem gesso de elevada e baixa acidez residual, não verificaram diferenças significativas na volatilização de amônia.

Como formas alternativas de diminuir perdas de nitrogênio durante a estocagem da cama de aviário, evitando as dificuldades de acesso e custo dos produtos acima discutidos, alguns pesquisadores (TEDESCO *et al.*, 1999 e KIEHL 1985) têm sugerido o uso de argila, uma vez que o amônio pode ser adsorvido na superfície interlamelar das argilas.

WITTER e LOPEZ-REAL (1988) utilizaram uma cobertura de dois centímetros de solo argiloso em pilhas com 3 toneladas de lodo de esgoto com palha, o que proveu alta eficiência na adsorção do amônio formado e redução das perdas de nitrogênio em quatro semanas de fermentação (redução nas perdas de nitrogênio de 90 e 60%, respectivamente). Análises posteriores comprovaram que a adsorção de amônio dobrou o conteúdo de nitrogênio do solo argiloso.

Além do efeito de adsorver o radical amônio, o solo também é fonte de microorganismos que poderão acelerar a decomposição e eliminação dos resíduos dos aditivos e dos patógenos. O aumento da diversidade microbiana em um material a ser decomposto aumenta a diversidade catabólica da biomassa microbiana em utilizar diferentes substratos para o seu desenvolvimento, ou seja, aumentam as possibilidades de haver microorganismos capazes de produzir alguma enzima que possa degradar os materiais constituintes da cama de aviário. Aqui não sendo considerado apenas o aumento da possibilidade de degradação de componentes orgânicos, mas também a degradação de substâncias químicas, como os antimicrobianos.

A adição de materiais com carbono facilmente degradável tem sido eficiente na redução das perdas de nitrogênio, uma vez que o amônio formado é rapidamente imobilizado na biomassa microbiana. MOREIRA e SIQUEIRA (2002) comentam que as novas células microbianas podem ser condensadas ou complexadas a substâncias húmicas, onde o nitrogênio encontra-se estabilizado quimicamente e de difícil mineralização. Os polímeros de

açúcares aminados são exemplos de componentes de células microbianas com estas características. KIRCHMAN e WITTER (1989) aumentaram a relação C/N do esterco de frangos durante a decomposição de 18/1 para 36/1 com a adição de capim e observaram diminuição nas perdas de nitrogênio de 44 para 8% o que foi atribuído ao reduzido pH na cama de aviário com maior relação entre estes dois elementos (5,0 a 6,2 comparados com 8,4-8,9 no segundo caso). Uma maior produção de ácidos seria o resultado de uma incompleta oxidação de carboidratos sobre limitadas condições de oxigenação e isto teria disponibilizado uma menor quantidade de nitrogênio para ser volatilizado. Por outro lado, HAUG (1993) argumenta que o aumento da relação C/N em um resíduo submetido a uma decomposição aumenta a razão de trocas gasosas pela diminuição da densidade do material, o que poderá provocar um resultado contrário ao observado por KIRCHMAN e WITTER (1989).

Com relação a este aspecto, HAUG (1993) cita haver dois meios pelo qual o oxigênio pode fluir através dos espaços porosos no interior da pilha: pela difusão molecular e pelo movimento de massa do ar através dos poros em resposta a um gradiente de energia. Difusão molecular resulta de uma constante e aleatória colisão entre moléculas de um fluido. Como resultado dessas colisões, há uma tendência das moléculas se moverem de uma zona de alta concentração para uma zona de baixa concentração. Similarmente, dióxido de carbono e vapor d'água irão se difundir do interior da pilha, onde são produzidos, para fora da pilha, onde a concentração é menor. O problema com a difusão molecular é que ela é extremamente baixa comparada com a exigência de oxigênio para haver uma alta oxidação dos compostos orgânicos. A difusão do oxigênio também é tanto menor quanto maior a umidade do material, e maior é a pilha do composto. Este autor cita o trabalho de SNELL (1975) onde alguns resíduos foram intercalados (5 a 10 cm de altura) em pilhas de compostagem de lodo de esgoto e houve um aumento significativo da taxa de oxigenação, mas mesmo assim representou menos que 5% da demanda de oxigênio necessária para haver decomposição de todo material orgânico.

O segundo modo de suprimento de oxigênio numa pilha estática ocorre devido à saída de vapor e de gases do topo das pilhas. Este processo também é denominado de convecção. O movimento é em resposta a alta temperatura dos gases dentro da pilha. Com as altas temperaturas do interior da pilha, o ar aumenta sua pressão de saturação por vapor e por outros gases, e com isso sua densidade. Esta diferença de densidade entre o ar quente e úmido do interior da pilha para o ar seco e frio exterior da pilha, o que representa um gradiente de

energia, produz um fluxo de ar do exterior para o interior da pilha, causando uma ventilação natural.

Em resumo, observa-se que com o crescimento da avicultura industrial há uma tendência de aumentar ainda mais a disponibilidade e a concentração da cama de aviário, maior resíduo da produção avícola. As consequências disso ainda são bastante imprevisíveis, principalmente porque até o momento ainda não direcionamos esforços suficientes em nossas pesquisas para entender o destino e as consequências ambientais do uso intensivo deste resíduo como fertilizante. De modo especial, para as nossas condições de clima e solo, as lacunas no conhecimento destes aspectos são ainda bem maiores.

O que podemos observar é que para reduzir o potencial de poluição da cama de aviário é imprescindível que ela seja adequadamente manejada. Um dos mais importantes manejos desejáveis é o seu tratamento através de uma decomposição. Há, no entanto, inúmeras dúvidas com relação a este tipo de tratamento e os estudos já realizados, a maioria em condições de clima e solo diferentes das nossas, são ainda incipientes para nos orientar na adoção de um tratamento da cama de aviário que possa reduzir ou evitar a perda de nutrientes e, ao mesmo tempo, reduzir ou eliminar os fatores que podem torná-la um poluente ambiental.

Com o objetivo de verificar o efeito de alguns tipos de manejos anteriormente descritos sobre algumas características da decomposição de cama de aviário e sobre a qualidade final do produto, desenvolvemos um experimento, o qual será descrito no próximo capítulo.

CAPÍTULO II – ESTUDO DE PROCESSOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO

2.1 HIPÓTESE

Um intervalo de tempo e um adequado processo de decomposição da cama de aviário possibilitam a produção de um adubo orgânico de alta qualidade como fertilizante.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar três tratamentos de decomposição que possibilitem a transformação da cama de aviário em um adubo orgânico de alta qualidade como fertilizante.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o efeito de diferentes ambientes de decomposição na transformação da cama de aviário em adubo orgânico;
- Determinar e avaliar a evolução de parâmetros físicos (temperatura e umidade), químicos (pH, carbono, nitrogênio, e a presença de resíduos de antimicrobianos) e microbiológicos (contagem de *Salmonella*, *Escherichia coli* e oocistos de eimérias) durante a decomposição da cama de aviário;
- Adaptar e validar uma metodologia de análise de salinomicina em cama de aviário por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE);
- Fornecer subsídios para a regulamentação do uso da cama de aviário como adubo orgânico;
- Gerar informações para melhorar a regulamentação e comercialização da cama de aviário.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi dividido em duas etapas: uma a campo, onde após a formação das pilhas de cama de aviário, acompanhou-se a evolução de alguns parâmetros e foi realizada a coleta de amostras, e uma segunda etapa em laboratório, onde foram feitas as análises do material coletado.

2.3.1 ETAPA A CAMPO

Foram construídas pilhas (montes) de cama de aviário obtida da Empresa Macedo Koerich SA. A cama tinha um ano de utilização e sobre ela foram criados seis lotes de frangos, abatidos com 48 dias de idade com um vazio sanitário entre lotes de 15 dias em média. A maravalha, composta basicamente pela espécie *Pinus eliotti* e obtida de serrarias da região, foi utilizada como material absorvente nos galpões e depositada em todo o aviário no primeiro loteamento, permanecendo até o final do sexto lote de frangos.

O experimento foi conduzido no município de Palhoça/SC, na empresa que cedeu a cama de aviário, em uma área ao ar livre. O período experimental teve duração de seis meses (180 dias), de 01/10/2002 até 31/03/2003. Neste período foram feitas coletas de amostras para a análise e determinação da evolução dos diferentes parâmetros. O croqui com a disposição das pilhas pode ser visualizado na FIGURA 2.

O local onde foi conduzido o experimento situa-se na latitude 27°39'10,2" e longitude 48°42'10,2", a 26 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é denominado de mesotérmico úmido com verão quente (Cfa).

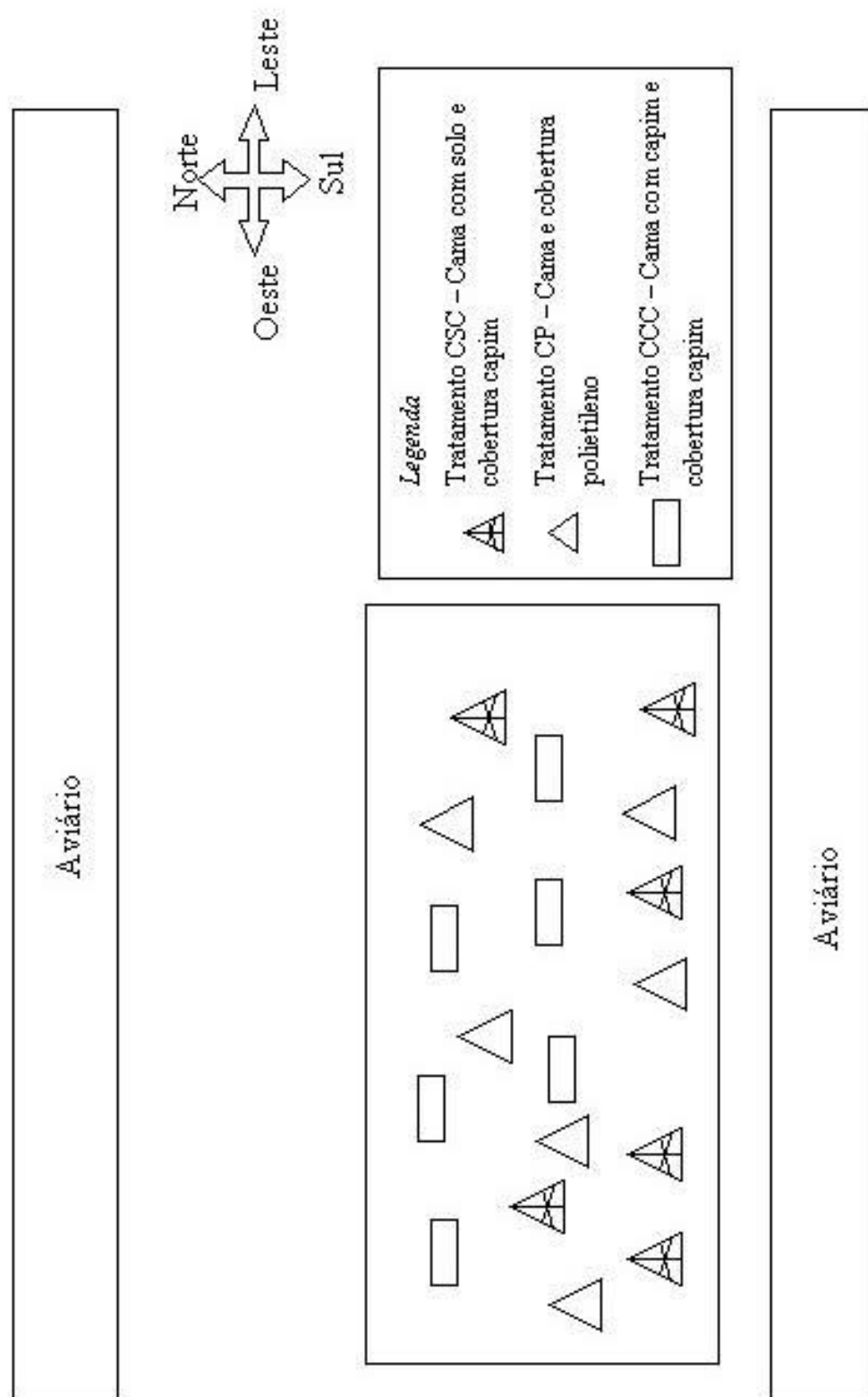


FIGURA 2. CROQUI DO EXPERIMENTO.

2.3.1.1 Tratamentos

As pilhas (repetições), com aproximadamente 2,5 m³ de cama de aviário foram submetidas a três processos de decomposição. Cada tratamento teve seis repetições.

Nas pilhas do **Tratamento CSC** foram utilizadas camadas de solo (aproximadamente 10% do volume de cama de aviário e com 2 cm de espessura) intercaladas na cama de aviário e cobertas com aproximadamente 15 centímetros de capim braquiária do brejo (*Brachiaria arrecta*).

O **Tratamento CP** foi o manejo habitual dos agricultores, em que as pilhas de cama foram apenas cobertas com polietileno de cor azul.

No **Tratamento CCC** foram utilizadas camadas de capim braquiária do brejo (cerca de 25% do volume da cama de aviário e com 10 cm de espessura) intercaladas na cama de aviário. A cobertura das pilhas foi o mesmo que no tratamento CSC.

No tratamento CSC e CP as pilhas tinham um formato piramidal, com 1,5 metros de diâmetro e 1,3 metros de altura. No tratamento CCC as pilhas foram construídas tendo um formato trapezoidal, com 2 metros de comprimento, 1,5 metros de largura e aproximadamente 1 metro de altura. Neste tratamento buscava-se uma maior aeração das pilhas, e pilhas com este tipo de formato apresentam uma alta superfície de contato para trocas gasosas.

Tanto o solo quanto o capim utilizado no experimento foram retirados das imediações da área onde foi implantado o experimento. O capim foi cortado no dia em que foram construídas as pilhas e encontrava-se na fase de pré-florescimento.

2.3.1.2 Coleta das Amostras

As amostras foram coletadas semanalmente no primeiro mês e mensalmente do segundo ao sexto mês. Amostras do tratamento CCC foram coletadas manualmente da superfície até 50 cm de profundidade, sempre em pontos diferentes da pilha em cada coleta. Para este tratamento teve-se o cuidado de não coletar capim junto às amostras. Para as coletas dos tratamentos CSC e CP foi utilizado um cano de PVC tendo na ponta um calador, como pode ser visualizado no Anexo 1. Amostras para estes dois tratamentos foram coletadas desde a superfície até uma profundidade de 70 cm. Em cada coleta as sub-amostras das diferentes profundidades foram homogeneizadas até completar aproximadamente 1 Kg de material, e

depois divididas em sub amostras que foram preparadas (secas, congeladas, etc.) de acordo com os protocolos relativos a cada parâmetro.

2.3.1.3 Evolução das temperaturas

Para o acompanhamento da temperatura das pilhas foram instalados sensores acoplados a um dispositivo de registro e medição (*data logger*). Foram instalados três sensores por tratamento, sendo dois sensores a 50 cm e um a 10 cm de profundidade. O uso de sensores possibilitou a obtenção de uma série bem maior de dados do que teríamos com o uso de termômetros geotérmicos. O registrador foi programado para o armazenamento de dados de temperatura para intervalos de uma hora.

Após a coleta dos dados, na análise preliminar das temperaturas registradas nas duas profundidades das pilhas, verificamos que não houve uma variação maior que 2°C durante o transcorrer do dia. Para facilitar a comparação destes dados com a temperatura média diária do ar, foram feitas médias de temperatura dos 24 registros diários obtidos.

Dados de temperatura média diária do ar e precipitação pluviométrica foram obtidos da Estação Meteorológica da EPAGRI de São José/SC, localizada numa distância aproximada de 15 km do local do experimento, numa altitude de 4 m e na latitude 27°36'6,1" e longitude 48°37'10,9"

2.3.2 ETAPA EM LABORATÓRIO

2.3.2.1 Parâmetros Físicos

2.3.2.1.1 Umidade

A umidade foi determinada com a secagem em estufa à 105 °C, durante 24 horas de acordo com A.O.A.C. (1970).

2.3.2.2 Parâmetros Químicos

As análises dos parâmetros químicos foram realizadas conforme metodologia recomendada por EMBRAPA (1999) e TEDESCO *et al.* (1985) no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Rural/CCA/UFSC e Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia e Desenvolvimento Rural/ CCA/UFSC.

2.3.2.2.1 Carbono Orgânico Total

Foi obtido pela oxidação do carbono orgânico pelo dicromato de potássio em ácido sulfúrico e a sobra do dicromato da reação foi titulada com sulfato ferroso na presença de indicador difenilamina.

2.3.2.2.2 Nitrogênio Total

Foi determinado pela oxidação do material orgânico pelo peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico na presença de uma mistura catalizadora. O nitrogênio reduzido à amônio foi posteriormente titulado com indicador verde de bromocresol e vermelho de metila em ácido bórico.

2.3.2.2.3 pH

Para a leitura do pH foram utilizados 5 gramas de material moído por peneira de 0,2 mm e misturadas e homogeneizadas em 12,5 gramas de água destilada (1:2,5), permanecendo a mistura em repouso durante 30 minutos. Após foi feita nova homogeneização e procedeu-se a leitura da quantidade de íons H^+ (hidrogênio) através de um potenciômetro.

2.3.2.3 Concentração de Salinomicina

A concentração de salinomicina foi determinada nas amostras de cama de aviário provenientes de frangos de corte que receberam ração aditivada com este antibiótico. A salinomicina foi utilizada na ração de crescimento numa concentração de 60 ppm. Além da salinomicina, foi utilizada a lasalocida como coccidiostático e a enramicina e o olaquinox como antimicrobianos promotores de crescimento na ração inicial e avilamicina e olaquinox como promotores de crescimento na ração de crescimento.

A análise da concentração de lasalocida nas amostras de cama de aviário coletadas ainda está em andamento e os resultados não serão apresentados neste trabalho. O antibiótico olaquinox não foi analisado nas amostras, pois num trabalho anteriormente desenvolvido por SANTOS (2003) verificou-se que este antibiótico já no período de retirada dos animais do aviário não foi mais detectado por CLAE. Isto seria devido ao tempo de meia-vida do

olaquindox no solo varia de 3 a 8 dias (INGERSLEV, 2001) e sob a presença de luz o olaquindox é altamente instável (ANALYTICAL METHODS COMMITTEE, 1985 e CEREZO *et al.* 1991). Como a cama durante um ano de criação dos animais recebeu luz (natural e artificial), provavelmente esta substância tenha sido rapidamente degradada.

A enramicina e a avilamicina não foram analisadas por não termos conseguidos os padrões analíticos com as empresa Schering Plough/Coopers e Elanco, respectivamente.

2.3.2.3.1 Instrumental utilizado

A análise cromatográfica foi realizada com um sistema para CLAE da marca Shimadzu Co., Japão, constituído de duas bombas modelo LC-10 ADVP, acoplado a um sistema controlador modelo SCI-10AVP e a um detector visível, modelo UV-VIS SPD-10AVP. O sinal foi registrado por um programa computadorizado, modelo CLASS-VP. As amostras foram injetadas manualmente através de uma válvula injetora Rheodyne, modelo 7725i, equipada com septo (loop) de 150 µl. Foi empregada uma coluna analítica de fase-reversa, tipo C18, empacotada com um polímero de sílica de octadecilsilano (Sephasil Peptide, 5µm, 250 x 4,6 mm DI, marca Amersham Pharmacia Biotech, Uppsala, Suécia) a qual foi protegida por uma guarda-coluna de aço inoxidável (20 x 2 mm DI) empacotada com partículas de octadecilsilano do tipo pelicular (Alltech, Deerfield, EUA).

O reator químico empregado para derivatização pós-coluna foi construído com um “T” e segmentos de conexão de aço inox, uma coluna de aço inox (70 x 2 mm DI) empacotada com esferas de vidro de 180-250 µm e uma serpentina de aço inox de 2,4 m de comprimento (SS 316SL, 1/16 pol. DE x 0,030 pol. DI) – (todos da Alltech, Deerfield, EUA) que foi aquecida em banho-maria a 80°C (Biomatic, Porto Alegre, Brasil). O diagrama esquemático do sistema de CLAE pode ser visualizado na FIGURA 3.

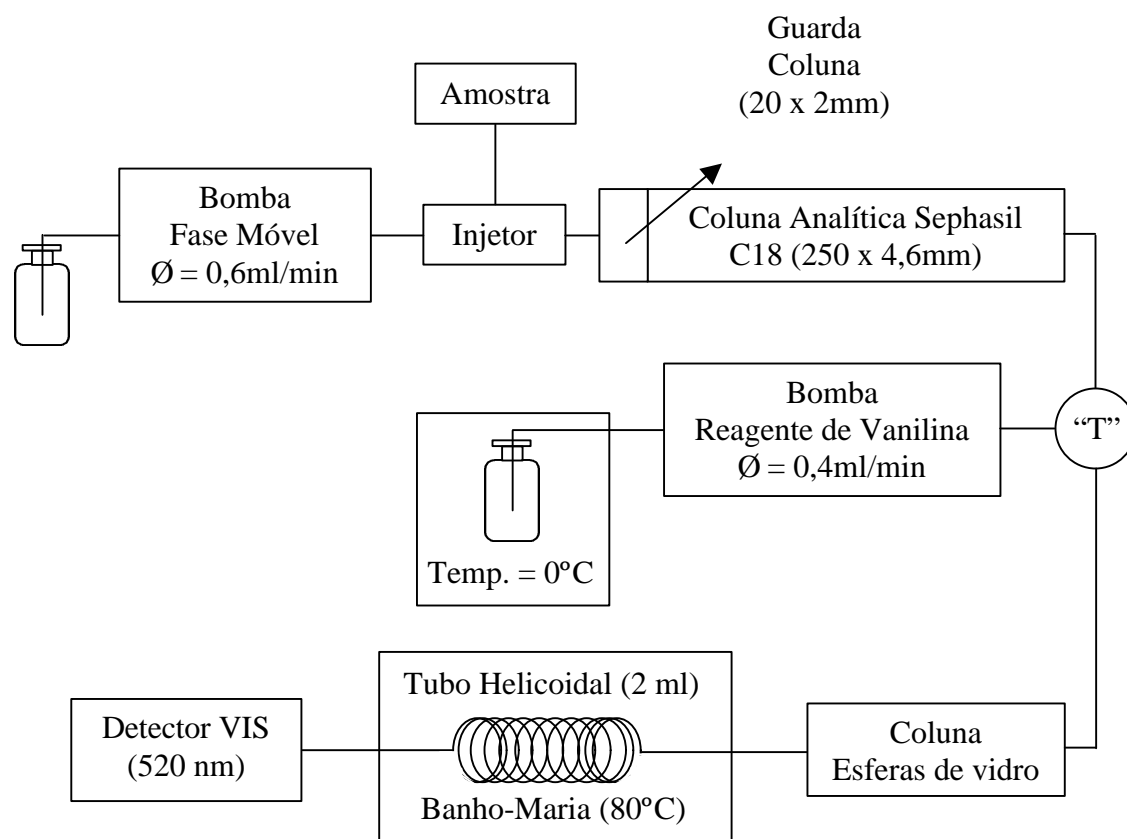


FIGURA 3 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE CLAE USADO PARA ANÁLISE DE SALINOMICINA.

2.3.2.3.2 Padrões da droga, reagentes e soluções

Foi empregado padrão de salinomicina sódica (93%) fornecido pela Phibro Saúde Animal International Ltda, assim como reagentes e solventes de grau analítico como: acetona, ácido acético glacial, ácido sulfúrico concentrado (96%) e vanilina (95%) ou de grau cromatográfico como metanol, sendo das marcas Carlo Erba, Nuclear e Vetec.

As soluções padrões dos analitos foram preparadas por diluição seriada após dissolver-se 5 mg da droga com metanol. Soluções de 10,0 e 100,0 ppm foram preparadas no início dos ensaios e mantidas a -20°C e, no momento de uso, uma alíquota de cada solução era retirada e deixada a temperatura ambiente e ao abrigo da luz para reequilibrar antes de preparar as soluções da curva de calibração.

A fase-móvel foi constituída de uma mistura volumétrica de metanol - ácido acético glacial 0,15% na proporção de (96:4). O reagente de vanilina foi preparado imediatamente antes dos ensaios em ambiente protegido da luz e calor com metanol (100 ml), adicionando-se lentamente 2 ml de ácido sulfúrico concentrado e em seguida dissolvendo-se 4 g de vanilina. Após o preparo as soluções foram filtradas a vácuo em membrana de PTFE (Teflon) com 0,45µm de porosidade e desgaseificadas por ultra-som e vácuo. O reagente de vanilina foi armazenado em frasco âmbar à temperatura abaixo de 0 °C.

As soluções aquosas foram preparadas com água ultrapura (resistividade maior que 18,2 Mohm-cm) produzida por um sistema purificador modelo Milli-Q Plus (Millipore Corp., Milford, MA, USA).

2.3.2.3.3 Condições Cromatográficas

A fase móvel foi bombeada de modo isocrático a um fluxo de 0,6 ml/min. através da coluna analítica, ambas mantidas em temperatura ambiente ($\pm 22^{\circ}\text{C}$). O reagente de vanilina, mantido a 0°C com gelo em uma caixa térmica de Isopor (EPS, poliestireno expandido) e protegido da luz, foi bombeado de modo contínuo e isocrático a um fluxo de 0,4 ml/min. e adicionado à fase-móvel eluída da coluna analítica por uma conexão em “T”. O eluente final (fluxo de 1,0 ml/min.) foi misturado na coluna com esferas de vidro antes de fluir através do reator químico aquecido a 80°C para derivatizar.

Os picos do complexo de salinomicina foram detectados pela absorbância de luz visível em comprimento de onda (λ) de 520 nm, sendo a sensibilidade do detector ajustada ao valor 4 e o Limite Auxiliar em 2 com máximo de absorbância de 1,000 AUFS.

2.3.2.3.4 Procedimentos

a) Coleta e preparação das amostras

Foram analisadas quatro repetições de amostras congeladas por tratamento no tempo zero, uma semana, um mês, três meses e seis meses de decomposição. No laboratório, alíquotas das amostras (aproximadamente 30 gramas) foram transferidas para potes de

polietileno e postos a secar em estufa a 40°C até a estabilização do peso, quando então foram armazenadas a -20°C.

b) Extração das amostras

A extração da salinomicina foi realizada no Laboratório de Farmacocinética do Departamento de Farmacologia/CCB/UFSC. Para tal, foram usadas alíquotas de 1,0 g de amostra de cama seca, em tubo de ensaio de 20 ml, com 8 ml de acetona. Em seguida, os tubos foram mantidos em banho de ultra-som durante 20 minutos, agitando-se vigorosamente em vórtex durante 1 min., a cada intervalo de 4 min. Após, 6 ml da fase orgânica foram transferidos para tubos de 15 ml e centrifugados a 4 000 rpm por 10 min., dos quais 5,0 ml foram novamente transferidos para tubos de 15 ml, evaporados em banho-maria a 37°C sob uma corrente suave de N₂. O resíduo foi dissolvido em 300 µl de acetonitrila com auxílio de vórtex e banho de ultra-som, transferido para um microtubo tipo Eppendorf, centrifugado a 14 000 rpm, por 10 min., a 4 °C, e uma alíquota de 50µl foi injetado no cromatógrafo equipado com um septo de 150µl.

Após o preparo, as amostras foram protegidas da luz, mantidas sob refrigeração (4 - 8 °C) por uma noite e transportadas em embalagem térmica hermeticamente fechada até o Laboratório de Farmacognosia do Departamento de Farmácia/CCS/UFSC.

c) Curva de calibração

As soluções utilizadas na construção da curva de calibração foram preparadas com as soluções estoques do padrão diluído em metanol. Para tal, alíquotas de 1g de cama de aviário isenta de salinomicina foram contaminadas com quantidades conhecidas do analito e extraídas como descrito no item 2.3.2.3.4. B. Com base na quantidade do composto que se esperava encontrar na cama, estabeleceu-se que na curva de calibração seriam utilizadas soluções com as seguintes concentrações: 0,0; 0,3; 0,6 1,0; 3,0; e 6,0 ppm.

d) Cálculo das concentrações

A equação da curva de calibração foi determinada por regressão linear baseada no método dos mínimos quadrados. A curva de calibração foi traçada lançando-se no eixo dos

“*x*” as diferentes concentrações das soluções padrões e no eixo dos “*y*” as áreas dos picos correspondentes a droga. As concentrações de salinomicina nas “amostras desconhecidas” foram então calculadas pelo emprego da equação ($y = ax + b$), onde *x* é a concentração da droga na cama (ppm = µg/g), *y* é a área do pico da droga, *a* é a inclinação da reta e *b* é o valor do intercepto (LAU *et al.*, 1987).

2.3.2.3.5 Validação do Método Analítico

a) Avaliação da variabilidade do ensaio

Para avaliar a reprodutibilidade e a repetibilidade do método analítico foi realizado o inter-ensaio e o intra-ensaio e calculada a precisão e exatidão dos mesmos.

Para a realização do inter-ensaio várias amostras de mesma concentração da curva de calibração foram preparadas como descrito no item 2.3.2.3.4 (c) e analisadas como amostras desconhecidas em vários ensaios.

Para a realização do intra-ensaio, 3 amostras de 10 g de cama de aviário foram contaminadas com 3 concentrações diferentes de salinomicina (0,5, 2,0 e 5,0 ppm) e analisadas como amostras desconhecidas num único ensaio. Neste ensaio, adicionou-se ainda 1 g de solo numa amostra de 9 g de cama e contaminou-se com 5,0 ppm de salinomicina para avaliar o efeito do solo na extração da salinomicina. Este solo foi o mesmo adicionado às pilhas do tratamento CSC. A contaminação com a salinomicina foi feita com a diluição da droga em 20 ml de metanol. Após, as amostras permaneceram impregnando na geladeira (4°C) e após 72 horas, foram secadas em estufa a 40°C até a estabilização do peso. A extração das amostras do intra-ensaio seguiu o procedimento adotado para as amostras analisadas nos outros ensaios.

A precisão expressa pelo Coeficiente de Variação (CV, em %) foi calculada como sendo: $\text{Desvio padrão} \div \text{média} \times 100$.

A exatidão expressa em porcentagem (%), foi calculada como segue: $\text{Concentração obtida (ppm)} \div \text{Concentração adicionada (ppm)} \times 100$ (DEMOTES-MAINAIRD *et al.*, 1989).

b) Recuperação dos compostos no processo de extração

A recuperação do analito pelo processo de extração foi avaliada no intra-ensaio com 3 amostras de matriz impregnadas com 3 concentrações diferentes de salinomicina (0,5, 2,0 e

5,0 ppm) e analisadas pelo mesmo método como amostras desconhecidas num único ensaio. A recuperação, expressa pela porcentagem (%) da droga extraída da matriz, foi comparada com a resposta obtida com a injeção de 4 alíquotas de soluções padrões de concentrações equivalentes de salinomicina, preparadas em fase móvel (sem extração) e injetadas diretamente no cromatógrafo. O cálculo da recuperação (%) foi realizado dividindo-se a área do pico de salinomicina da amostra padrão na matriz (cama) pela área do pico do analito na solução padrão de concentração correspondente preparada em fase móvel. A razão foi multiplicada por 100 para expressar a % de recuperação.

c) Avaliação da estabilidade

Soluções padrões de salinomicina foram preparadas em fase-móvel (10 e 100 ppm), mantidas sob refrigeração (4 a 8 °C) e ao abrigo da luz até o término dos ensaios. Em cada ensaio cromatográfico, duas alíquotas das soluções foram injetadas no cromatógrafo e suas respectivas áreas dos picos comparadas com as anteriores com o objetivo de detectar alterações na estabilidade dos compostos durante as análises.

2.3.2.4 Parâmetros Microbiológicos

2.3.2.4.1 Contagem de Escherichia coli

A contagem de *E. coli* foi realizada no Laboratório de Microbiologia do Solo, do Departamento de Microbiologia e Parasitologia do CCB/UFSC.

Foram realizados alguns testes preliminares presuntivos e confirmativos para estabelecer a metodologia a ser utilizada na contagem de *E. coli*. A Figura 4 mostra um esquema da sequência de testes estabelecida.

Após terem sido descongeladas no dia anterior da inoculação, procedeu-se a homogeneização de 25 g das amostras em 225 ml de água de peptona 1% com um desintegrador (Moulinex[®]), permanecendo durante 2 horas para revitalização dos microorganismos.

Para a etapa presuntiva inoculou-se 10, 1 e 0,1 ml da amostra em tubos contendo 10 ml de meio lactosado, utilizando-se 5 tubos por diluição. Os tubos foram incubados a 37 ± 1

°C por 24-48 horas. Este meio é seletivo para microorganismos que fermentam a lactose, sendo considerado positivo quando há produção de gás nos tubinhos de Durhan. Dos tubos positivos, inoculou-se uma alçada (alça platina calibrada) em tubos contendo 3 ml de caldo EC. Este meio é seletivo para enterobactérias gram-negativas que fermentam lactose e produzem gás nos tubinhos de Durhan em 24-48 horas em banho-maria a $44,5 \pm 0,5$ °C. Destes tubos positivos inoculou-se uma alçada em placas contendo meio Teague, em que, após 24-48 horas a 37 ± 1 °C, colônias de *E. coli* se apresentam pequenas de cor preta, com reflexos verde metálico.

Como teste confirmativo, colônias típicas de *E. coli* de cerca de 10% das placas do teste anterior foram isoladas e cultivadas em placas contendo meio ágar nutriente para produzir colônias puras, que então foram inoculadas para provas bioquímicas de identificação. Para isso utilizou-se para cada placa um tubo contendo os meios indol, vermelho de metila, Voges-Proskauer e citrato (Quadro de IMViC). A *E. coli* apresenta para o quadro de IMViC resultado ++ --.

2.3.2.4.2 Contagem de Oocistos de Eimérias

Para a contagem dos oocistos de eimérias foi utilizado o método descrito por LONG e ROWELL (1958) onde os oocistos ficam suspensos numa solução de água destilada com a adição de sulfato de magnésio ($MgSO_4$). A contagem é feita na célula de McMaster com o auxílio de um microscópio ótico. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia Digestiva/CCA/UFSC.

2.3.2.4.3 Contagem de Salmonella

Esta análise foi realizada no Laboratório de Microbiologia da Macedo Koerich, de acordo com a metodologia do MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (1998).

2.3.2.5 Análise Estatística dos Dados

Os dados foram submetidas a análise de variância usando o aplicativo STATGRAPH do WINDOWS 98. As médias foram comparadas através do Teste de Tukey, com nível de 5% de probabilidade.

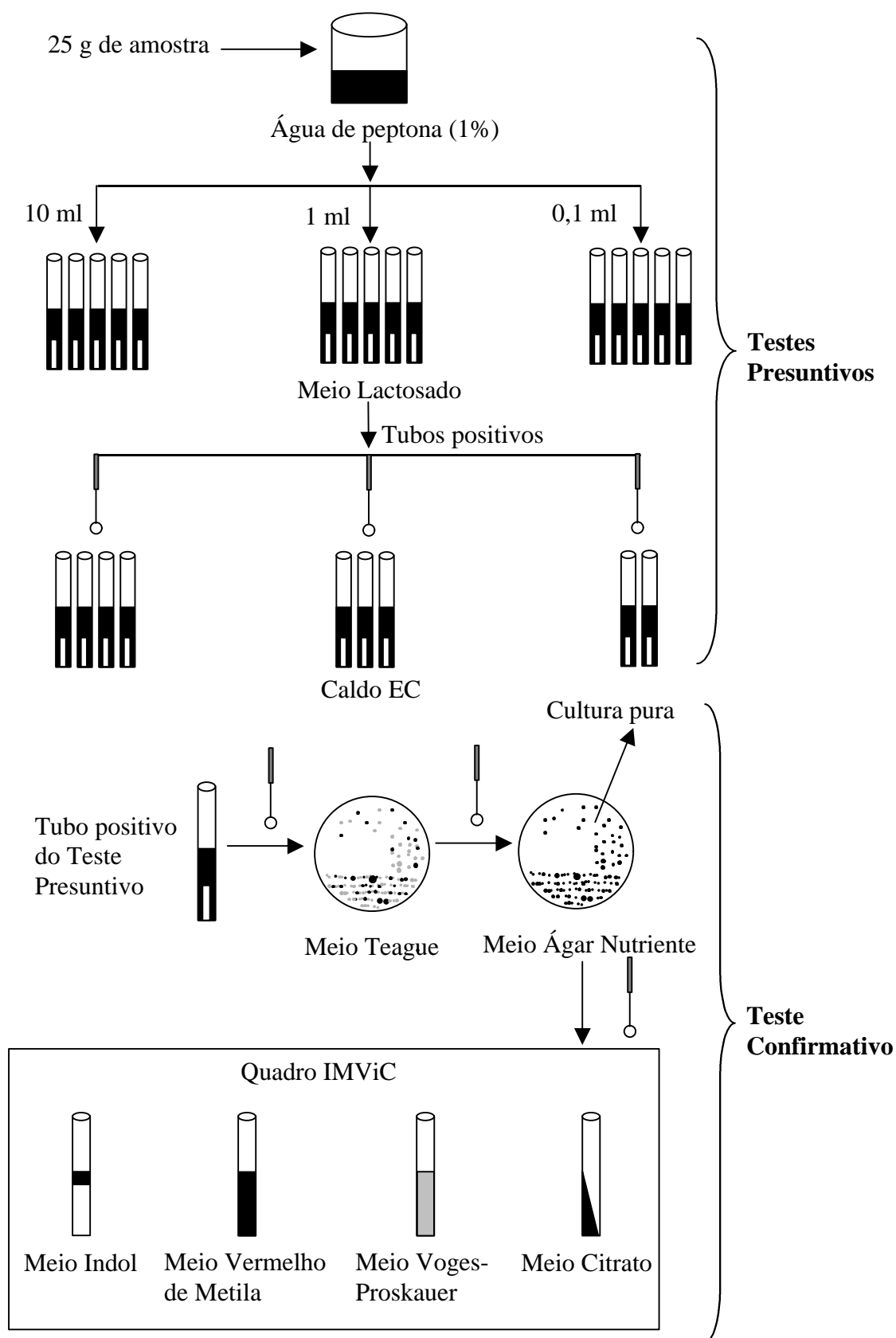


FIGURA 4 - ESQUEMA DA METODOLOGIA UTILIZADA NA CONTAGEM DE *Escherichia coli*.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Vários fatores interferem na velocidade e intensidade das reações que ocorrem no processo de decomposição da cama de aviário e vários deles foram responsáveis pelas diferenças significativas entre os tratamentos utilizados neste trabalho.

Muitos destes fatores são passíveis de serem controlados e com isso podemos determinar algumas características desejáveis do produto final. Uma cama de aviário com um alto nível de contaminação patogênica ou que apresenta condições desfavoráveis para uma adequada decomposição devido a uma alta densidade ou uma baixa concentração de nutrientes, por exemplo, pode ser modificada e com isso podemos aumentar ou reduzir a velocidade das reações de decomposição.

2.3.1 RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

A análise de variância das variáveis matéria seca, pH, teores de carbono e nitrogênio, concentração de salinomicina e contagem do número de oocistos de eimérias apresentou uma interação altamente significativa ($P > 0,0001$) entre os tratamentos e os tempo de coleta (TABELA 2). Para estas variáveis, as médias serão apresentadas para as interações entre estas duas fontes de variação.

A interação tratamento e tempo de coleta somente não foi significativa para a contagem de *Escherichia coli*, assim, para essa variável, as médias serão apresentadas sem considerar essa interação.

TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Probabilidade > F
<i>Matéria Seca</i>					
Tratamento x Tempo	29	41404,68	1427,75	52,28	0,0001
Resíduo	150	4096,68	27,31		
<i>pH</i>					
Tratamento x Tempo	29	48,11	1,66	24,85	0,0001
Resíduo	150	10,01	0,07		
<i>Carbono</i>					
Tratamento x Tempo	14	2691,78	192,27	12,07	0,0001
Resíduo	75	1194,76	15,93		
<i>Nitrogênio</i>					
Tratamento x Tempo	29	39,24	1,35	6,56	0,0001
Resíduo	150	30,94	0,21		
<i>Salinomicina</i>					
Tratamento x Tempo	15	30,23	2,56	15,45	0,0001
Resíduo	29	8,78	0,22		
<i>Escherichia coli</i>					
Tratamento x Tempo	6	7253,97	1209	0,695	0,656
Resíduo	21	36533,33	1739,68		
<i>Número de oocistos de eiméiras</i>					
Tratamento x Tempo	29	0,99E x 10 ⁸	3423653,92	5,731	0,0001
Resíduo	150	0,90E x 10 ⁸	597420,20		

2.3.2 PARÂMETROS FÍSICOS

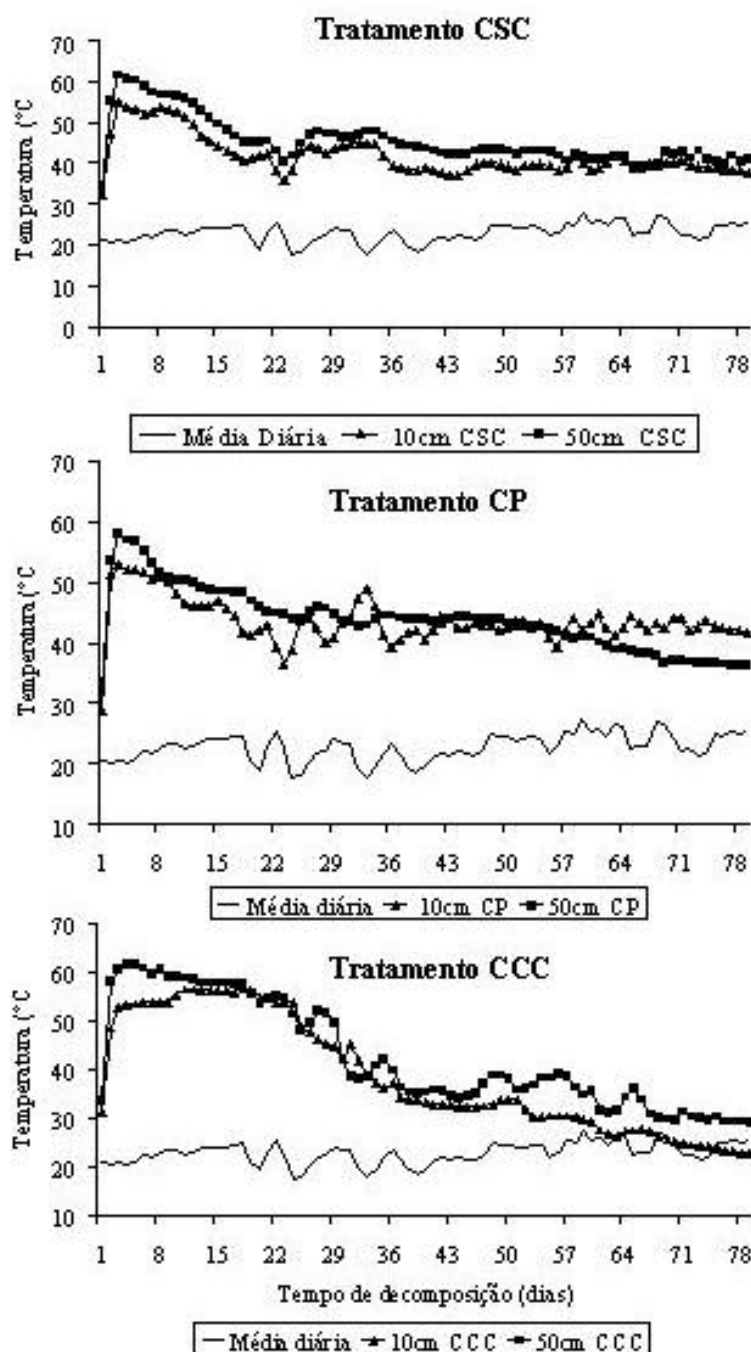
A evolução das temperaturas das pilhas (termogênese) foi acompanhada até aos 78 dias de decomposição quando se verificou que as temperaturas praticamente haviam estabilizado e lentamente se aproximavam da temperatura média diária do ar registrada na Estação Meteorológica da EPAGRI de São José/SC (FIGURA 5). A tendência de

estabilização e aproximação da temperatura das pilhas com a temperatura ambiente, observada principalmente a 50 cm de profundidade, indicam que neste período as reações de decomposição do material orgânico pela atividade biológica já haviam diminuído consideravelmente e a partir daí se mantiveram baixas.

O rápido aumento da temperatura verificado nos três tratamentos no início do processo de decomposição indica a possibilidade de uma alta qualidade das substâncias orgânicas passíveis de ser mineralizadas e de elevadas concentrações de oxigênio no interior das pilhas. As primeiras fontes de liberação de calor são provenientes da ação de enzimas digestivas e a oxidação química de certos grupos de lipídios presentes nas fezes dos animais. No tratamento CCC temos o efeito adicional na temperatura a ação de enzimas do capim verde com o início da degradação do tecido vegetal, o que pode ter contribuído na manutenção de uma temperatura mais elevada por um período maior de tempo. Porém, estes processos produzem uma quantidade de calor relativamente pequena diante da liberação de calor decorrente das reações intermediadas pelos microorganismos.

ATKINSON *et al.* (1996) verificaram um comportamento semelhante para a temperatura em pilhas de cama de aviário. Eles verificaram temperaturas máximas (55°C) após um período de 20 horas do início da decomposição, que se mantiveram 16 dias, quando lentamente começaram a diminuir. Entretanto, BAKSHI e FONTENOT (1998) registraram uma temperatura máxima mais elevada (65°C) e somente no sétimo dia de decomposição. Neste caso, os autores elevaram a umidade da cama até 40% e isto teria favorecido a elevação da temperatura na fase inicial da decomposição.

As maiores temperaturas foram registradas no primeiro dia após as pilhas terem sido montadas (58,32; 55,25 e 53,24°C em média para as duas profundidades, respectivamente para os tratamentos CSC, CP e CCC). A grande dissipação de calor proveniente da respiração aeróbia com uma intensa decomposição da matéria orgânica deve ser a responsável pela rápida elevação da temperatura. A presença na cama de aviário de uma grande quantidade de fezes, ração desperdiçada dos comedouros, e uma maior aerobiose quando as pilhas foram montadas, são condições que estimulam o crescimento e a ação dos microorganismos decompositores.



Tratamentos: CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e solo e coberto com capim.

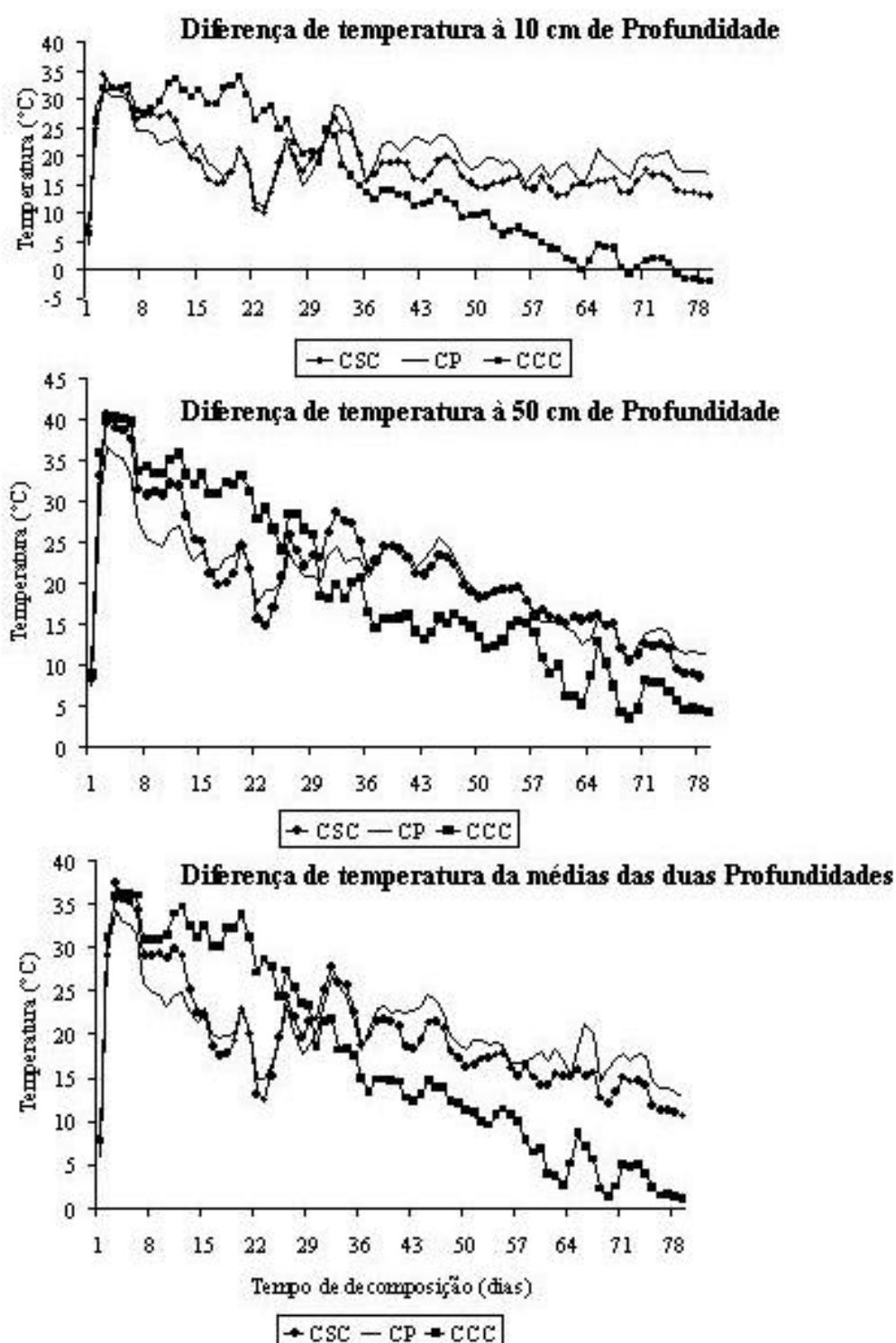
FIGURA 5 - TEMPERATURAS MÉDIA DIÁRIA DO AR, 10 E 50 cm DE PROFUNDIDADE DE PILHAS DE CAMA DE AVIÁRIO, PARA CADA TRATAMENTO.

Entretanto, com a depleção do oxigênio no interior das pilhas, criando condições em que predominam reações anaeróbias – respiração anaeróbia e fermentação – e com isso uma menor liberação de calor, ocorreu uma diminuição das temperaturas das pilhas depois de transcorrido o período inicial. Além disso, a maravalha por apresentar normalmente um elevado teor de lignina, baixa concentração de nutrientes e ser um componente presente em grande quantidade na cama, não apresenta a mesma velocidade de decomposição que os demais constituintes, liberando também menores quantidades de calor. Parte da maravalha podia ser identificada no final dos 180 dias de avaliação.

Estes dois momentos, o primeiro com uma intensa decomposição da matéria orgânica e o segundo momento com uma decomposição de compostos orgânicos mais lenta, foram também responsáveis por mudanças significativas nos parâmetros químicos e na concentração de salinomicina destes tratamentos, as quais serão discutidas posteriormente.

No tratamento CCC, em que houve a adição de capim, as temperaturas das pilhas, tanto a 10 cm e a 50 cm de profundidade, assim como as temperaturas médias das duas profundidades, permaneceram mais altas (até cerca de um mês) que as temperaturas dos tratamentos CSC e CP (FIGURA 6). A interação de vários fatores pode ser a responsável por manter a temperatura das pilhas elevadas por um período de tempo maior neste tratamento, entre eles a adição do capim, que pode ter aumentado a disponibilidade de material de fácil decomposição, a produção e liberação de calor proveniente de reações enzimáticas internas do capim, assim como a aeração do material favorecida pela redução da densidade volumétrica da pilha e a cobertura com capim suprimindo uma maior quantidade de oxigênio aos microorganismos decompositores.

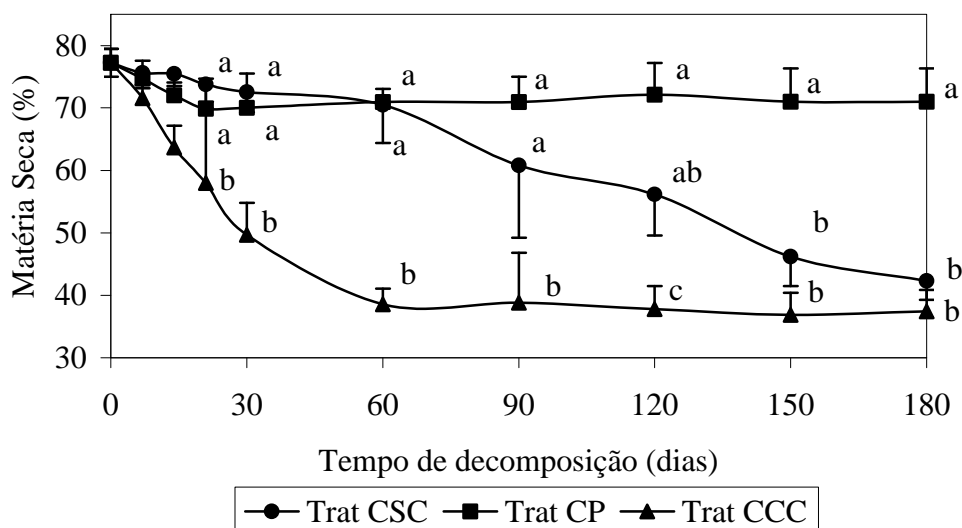
Para o tratamento CCC verificou-se que, transcorridos 30 dias da implantação do experimento, as temperaturas das pilhas, principalmente a 10 cm de profundidade, diminuíram mais rapidamente que a dos demais tratamentos (FIGURA 6). Isto pode ser devido à diminuição significativa da matéria seca das pilhas proporcionada por uma grande perda de vapor d'água e uma maior infiltração da água da chuva (FIGURA 7 e TABELA 3). O formato cúbico das pilhas deste tratamento, assim como a rápida decomposição do capim que foi utilizado como cobertura, aumentaram a infiltração de água das chuvas que ocorreram em praticamente todo o período experimental (FIGURA 8).



Tratamentos: CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e solo e coberto com capim.

FIGURA 6 - DIFERENÇA ENTRE A TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR E A TEMPERATURA A 10, 50 cm E MÉDIA DAS PROFUNDIDADES DE PILHAS DE CAMA DE AVIÁRIO, PARA CADA TRATAMENTO.

No tratamento CSC, em que também foi utilizado capim como cobertura das pilhas, também houve uma redução significativa da matéria seca, mas como o formato piramidal favorece um maior escoamento superficial da água da chuva, este efeito na matéria seca foi verificado somente após 90 dias de decomposição.



- Letras diferentes na vertical representam diferença significativa ($P > 0,05$) entre as médias.
- **Tratamentos:** CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e coberto com capim.

FIGURA 7 - EVOLUÇÃO DAS MÉDIAS DE MATÉRIA SECA ENTRE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

Neste sentido, a utilização de capim como cobertura de pilhas de cama de aviário é uma prática que pode ser usada, mas esta cobertura deve ser seguidamente repostada para evitar a infiltração da água em materiais que exijam períodos prolongados de decomposição. Sem este cuidado, poderá ocorrer uma redução do teor de matéria seca do material. Isto dificultará o manuseio deste pelo agricultor, independentemente dele fazer o espalhamento manual ou mecânico nas lavouras.

As temperaturas médias verificadas a 50 cm de profundidade nas pilhas do tratamento CSC em praticamente todo o período analisado foram um pouco maiores do que as temperaturas verificadas a 10 cm de profundidade, sendo o mesmo efeito verificado no tratamento CCC (FIGURA 5 e 9), principalmente nos primeiros dias, quando houve uma diferença de 8 e 10°C, respectivamente. Isto reforça a idéia de que a cobertura das pilhas com capim permite uma maior perda de calor para o ambiente na camada próximo a superfície.

Para o tratamento CP, também houve uma maior temperatura a 50 cm de profundidade (5°C), mas após os dois primeiros meses, a temperatura a 10 cm de profundidade torna-se maior que a 50 cm.

TABELA 3 - EVOLUÇÃO DOS VALORES DE MATÉRIA SECA EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

Tempo de decomposição (dias)	Tratamentos			
	CSC	CP	CCC	CV (%)
0	77,23 a	77,23 a	77,23 a	2,9
7	75,61 a	74,66 a	71,56 ab	3,4
14	75,44 a	71,99 a	63,67 b	3,6
21	73,74 a	69,89 a	57,99 bc	10,3
30	72,54 a	70,04 a	49,68 c	7,6
60	70,50 a	70,93 a	38,58 d	6,1
90	60,80 b	70,92 a	38,85 d	17,2
120	56,19 b	72,11 a	37,81 d	19,73
150	46,18 b	70,99 a	36,89 d	9,1
180	42,30 b	70,88 a	37,45 d	7,1

- Médias seguidas de letras minúsculas na coluna diferem ($P>0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

A cobertura com polietileno, que permite a passagem de ondas da radiação solar de curto comprimento, mas evita a saída de ondas de longo comprimento emitidas da superfície, deve ter retido boa parte do calor gerado e, assim, impedido que as temperaturas a 10 cm reduzissem tanto quanto a 50 cm de profundidade. Além disso, as maiores temperaturas próximas da superfície deste tratamento não interferiram nas temperaturas a 50 cm de profundidade. A baixa correlação entre as temperaturas na profundidade de 10 e 50 cm deste tratamento (TABELA 4) demonstram o efeito diferenciado na temperatura da cobertura das pilhas com polietileno. Já nos tratamentos CSC e CCC, onde a cobertura das pilhas com capim não tem o mesmo efeito que o polietileno na retenção do calor, há uma alta correlação entre as temperaturas destas duas profundidades.

TABELA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURAS NAS PROFUNDIDADES DE 10 E 50 cm EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

Correlação	Tratamentos (10 cm)			
Tratamentos (50 cm)		<i>CSC</i>	<i>CP</i>	<i>CCC</i>
	<i>CSC</i>	0,8379	-	-
	<i>CP</i>	-	0,5741	-
	<i>CCC</i>	-	-	0,9352

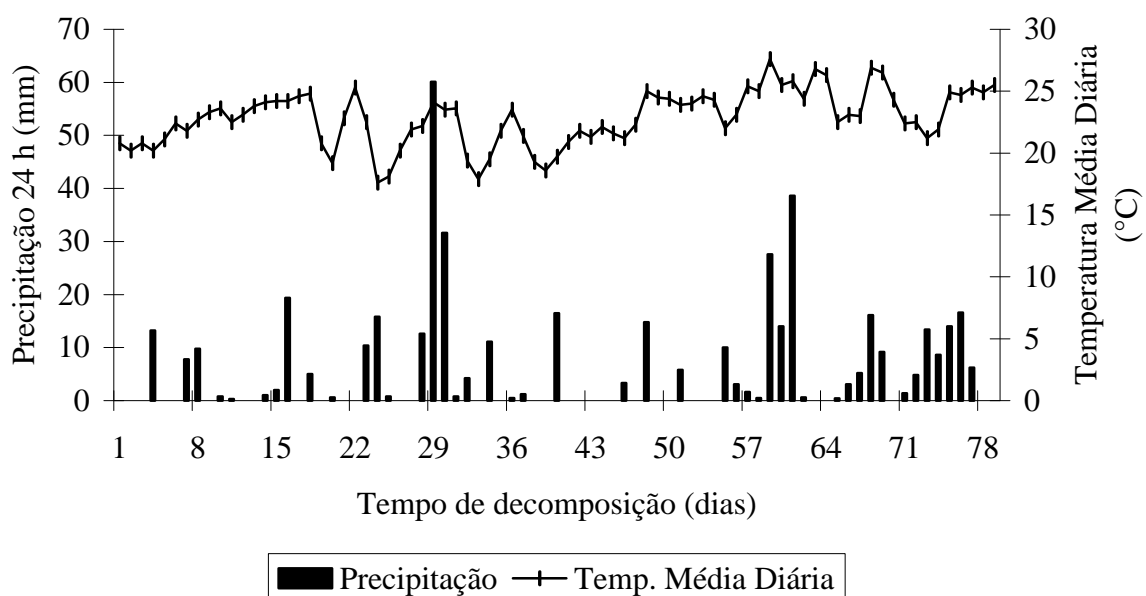


FIGURA 8 - DADOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SÃO JOSÉ/SC.

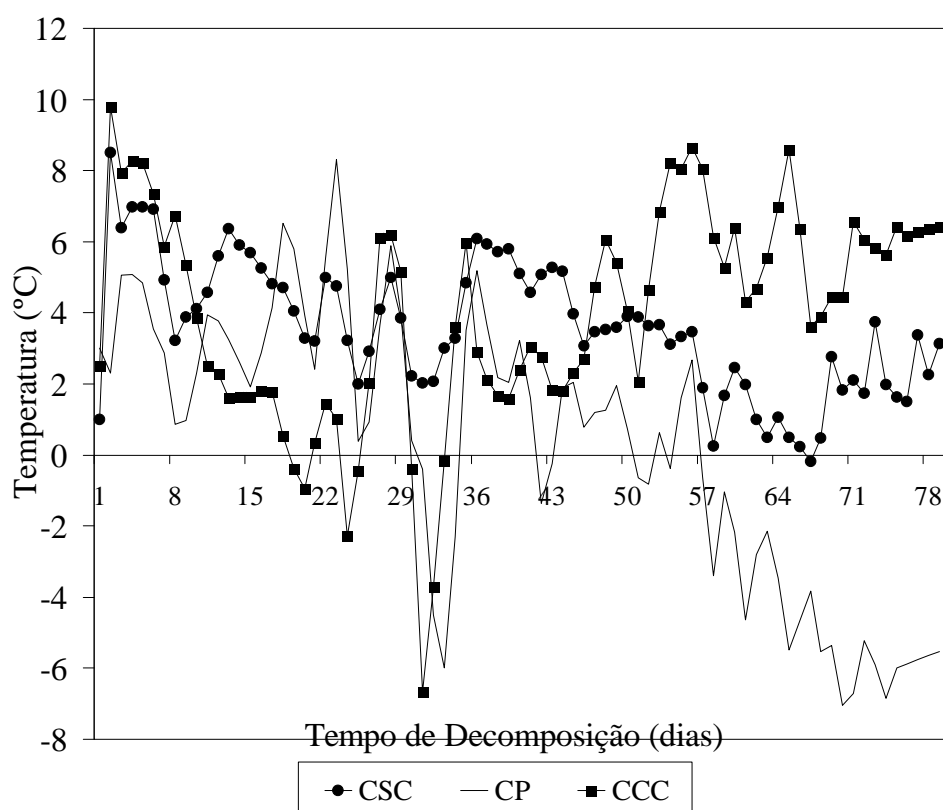


FIGURA 9 - DIFERENÇA ENTRE AS TEMPERATURAS A 50 e 10 cm DE PROFUNDIDADE DE PILHAS DE CAMA DE AVIÁRIO SUBMETIDA A TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO.

Pesquisas realizadas demonstram haver uma significativa influência da cor do polietileno na troca de calor, cujos benefícios são amplamente explorados em cultivos em estufas e na solarização de solos, mas que também podem ser explorados no tratamento de decomposição da cama de aviário para aumentar a temperatura próxima da superfície da pilhas. Com isso, poder-se-ia aumentar as condições desfavoráveis à sobrevivência de patógenos em uma cama de aviário que apresentasse um alto nível populacional destes microorganismos ou acelerar a degradação de substâncias químicas presentes na cama. O polietileno transparente, para este objetivo, seria o mais indicado, pois apresenta uma alta transmissividade da radiação recebida (71%), contra 65% de um polietileno de cor azul (SENTELHAS *et al.*, 1999). O polietileno de cor preta é o material que, pela sua grande disponibilidade, é o mais utilizado pelos agricultores para cobrir pilhas de cama de aviário. Pela maior passagem de ondas curtas da radiação solar, aumentando a energia disponível para

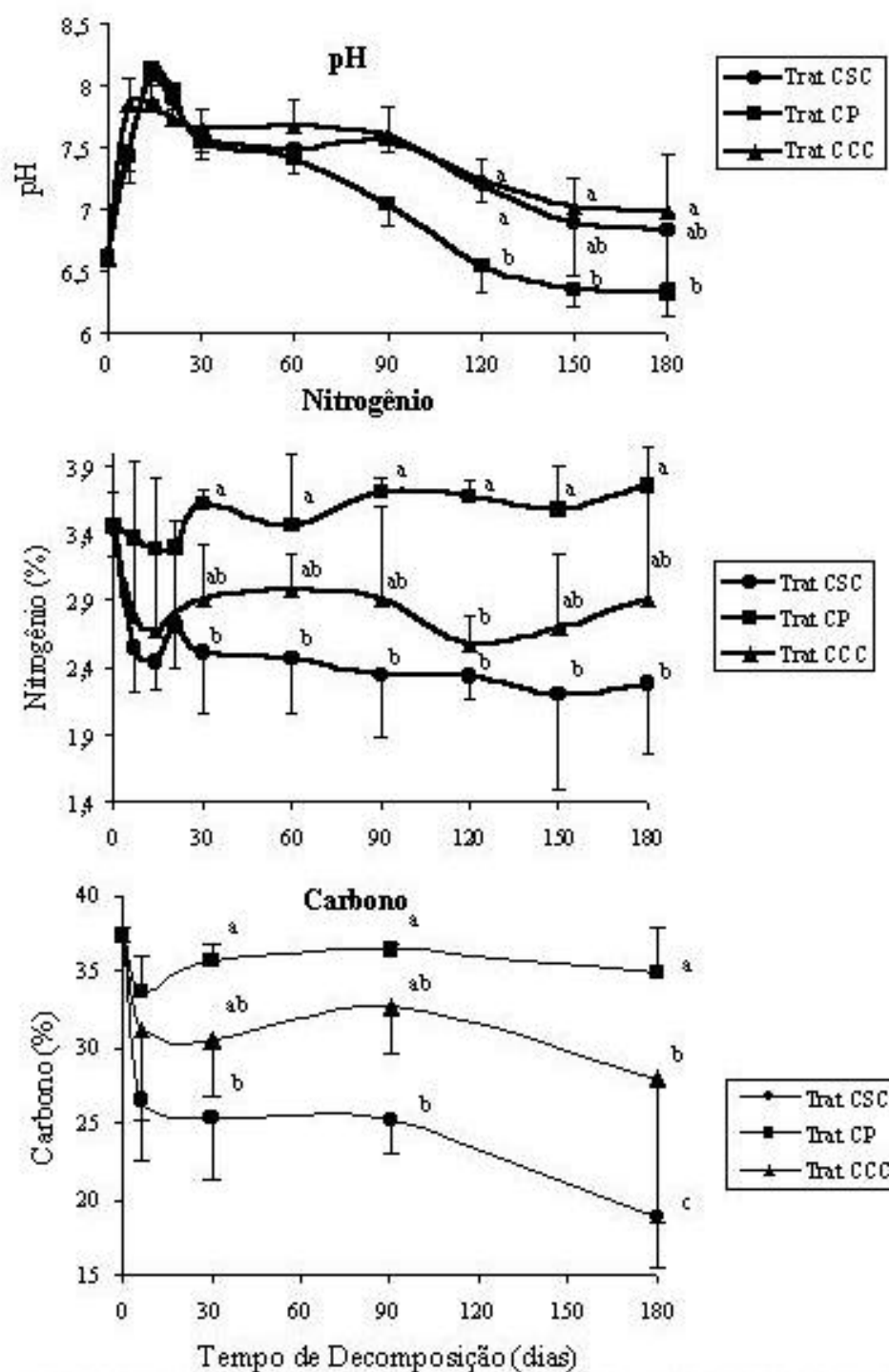
o aquecimento do material, o preto seria mais indicado como cor de polietileno do que cores coloridas.

Num processo de decomposição pode haver uma alta produção de calor, mas ao mesmo tempo grandes perdas do calor gerado, assim como podemos ter uma menor produção de calor com menores perdas desse calor. Esta última situação é o que provavelmente prevaleceu no tratamento CP, onde as temperaturas registradas são similares com as dos tratamentos CSC e CCC. A produção de calor foi menos intensa do que nos demais tratamentos em consequência de uma menor atividade biológica, mas a cobertura de polietileno pode ter contribuído na retenção do calor gerado. Isto é devido ao fato de não haver grandes trocas de vapor d'água para a atmosfera com este tipo de cobertura. Este mecanismo seria responsável por cerca de 90% de perda de calor numa pilha de decomposição (MacGREGOR *et al.*, 1981). As pilhas deste tratamento não mostraram variações significativas na matéria seca (FIGURA 7). Apesar disso, houve uma concentração de umidade nas bordas da pilha. Como as coletas eram feitas desde a superfície, na média não houve variação estatisticamente significativa na matéria seca.

2.3.3 PARÂMETROS QUÍMICOS

Dependendo dos tratamentos aos quais a cama de aviário foi submetida, houve algumas diferenças significativas entre (FIGURA 10) e na evolução dos três tratamentos de decomposição (TABELA 5) ao longo dos 180 dias do experimento.

Quando analisamos a evolução dos parâmetros dentro de cada tratamento (TABELA 5), fica evidente que no período inicial do experimento, até cerca de 30 dias, as reações de oxidação da matéria orgânica foram bem mais intensas do que após este período e provocaram diferenças significativas ($P > 0,05$) para os valores de nitrogênio, carbono e, principalmente para os valores de pH. Com uma menor intensidade das reações de oxidação da matéria orgânica no segundo período, as diferenças entre estes parâmetros dentro dos três tratamentos foram mais discretas.



- Tratamentos: CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e solo e coberto com capim;
 - Letras diferentes na vertical representam diferença significativa ($P > 0,05$) entre as médias (seis repetições).

FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DE pH, NITROGÊNIO E CARBONO ENTRE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

TABELA 5 - EVOLUÇÃO DOS VALORES DE pH E DAS CONCENTRAÇÕES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

Tempo de decomposição (dias)	Tratamentos			CV (%)
	CSC	CP	CCC	
<i>pH</i>				CV (%)
0	6,61 a	6,61 a	6,61 a	0,3
7	7,46 cd	7,43 bc	7,85 d	2,6
14	8,08 e	8,13 d	7,86 d	2,2
21	7,89 de	7,96 cd	7,75 cd	1,8
30	7,59 cde	7,56 bc	7,65 cd	2,0
60	7,48 cd	7,42 bc	7,69 cd	1,8
90	7,56 cde	7,04 ab	7,60 cd	2,2
120	7,20 bc	6,55 a	7,24 bc	2,5
150	6,89 ab	6,35 a	7,03 ab	3,8
180	6,84 ab	6,32 a	6,98 ab	5,3
<i>Nitrogênio (%)</i>				CV (%)
0	3,46 a	3,46 a	3,46 a	6,9
7	2,55 ab	3,37 a	2,79 a	17,4
14	2,45 ab	3,28 a	2,68 a	15,3
21	2,70 ab	3,29 a	2,81 a	11,8
30	2,51 ab	3,62 a	2,92 a	11,6
60	2,48 ab	3,46 a	2,98 a	13,7
90	2,35 ab	3,71 a	2,92 a	15,4
120	2,34 ab	3,67 a	2,58 a	6,2
150	2,20 b	3,58 a	2,71 a	20,3
180	2,28 b	3,76 a	2,92 a	23,0
<i>Carbono (%)</i>				CV (%)
0	37,43 a	37,43 a	37,43 a	1,3
7	26,48 b	33,75 a	31,24 b	17,1
30	25,3 b	35,74 a	30,42 ab	6,3
90	25,24 b	36,50 a	32,7 ab	3,0
180	18,69 b	34,96 a	27,85 b	19,6

- Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem ($P > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

O pH apresentou uma rápida e significativa elevação para todos os tratamentos, sendo que os maiores valores foram registrados nas amostras coletadas aos 14 dias de decomposição (8,08, 8,13 e 7,86, respectivamente para os tratamentos CSC, CP e CCC). Do nitrogênio presente na cama de aviário no período inicial de decomposição, cerca de 60 a 80%, de acordo com KELLEHER, *et al.* (2002), encontram-se em formas orgânicas, como proteína e ácido úrico, devido principalmente às dejeções dos animais e a ração desperdiçada dos comedouros. Estas formas nitrogenadas estão facilmente disponíveis aos microorganismos para serem convertidas em formas amoniacais - amônia (NH_3) e amônio (NH_4^+). Este processo, denominado de amonificação, consome prótons H^+ e com isso ocorre uma elevação do pH. A amonificação é um processo relativamente acelerado porque pode ser intermediado por diversos microorganismos. A relação carbono/nitrogênio (C/N) da cama de aviário quando o experimento foi montado (11/1) (FIGURA 11) também era altamente favorável para que uma grande quantidade de nitrogênio orgânico fosse convertido em nitrogênio inorgânico e então, sob a forma de amônia, passível de ser volatilizado. Uma baixa disponibilidade de carbono rapidamente assimilável aos microorganismos faz com que o nitrogênio não seja imobilizado pela biomassa microbiana.

Dentre os máximos valores de pH registrados, a cama de aviário que recebeu o tratamento CCC, onde capim foi adicionado às pilhas, apresentou o menor valor (7,86), embora não sendo uma diferença significativa em relação ao tratamento CSC (8,08) e tratamento CP (8,13) (FIGURA 10). Este pH mais baixo pode ser devido a uma maior formação de ácidos orgânicos pela decomposição do capim adicionado, provocando uma menor elevação do pH no período inicial de decomposição.

Após 14 dias de decomposição, os valores de pH diminuíram significativamente para todos os tratamentos (TABELA 5). Observou-se uma redução mais intensa do pH até o 30º dia e, a partir de então, uma redução lenta e gradual até o 5º mês de decomposição, quando os valores praticamente não mais variaram. Esta redução do pH pode ser consequência da conversão das formas amoniacais em nitrato (NO_3^-), com a liberação de prótons H^+ , e por uma maior formação de ácidos orgânicos decorrente da decomposição do material orgânico.

Provavelmente os teores de nitrato foram reduzidos durante a decomposição. De acordo com MOREIRA E SIQUEIRA (2002), a nitrificação é um processo lento com temperaturas abaixo de 5°C e acima de 40°C, sendo bem mais intenso em torno de 30 a 35 °C,

e, além disso, somente ocorre na presença de oxigênio. Os tratamentos CSC e CCC, caracterizados no período inicial por uma maior oxigenação, até poderiam apresentar uma maior concentração de nitrato pela maior conversão do nitrogênio orgânico em formas amoniacais, mas as temperaturas acima de 50°C poderiam ao mesmo tempo inibir a ação de microorganismos responsáveis por esta transformação. Assim, a formação de ácidos orgânicos pela fermentação da matéria orgânica, como ácido propiônico, butírico e acético, deve ter sido a principal responsável pela redução do pH para todos os tratamentos. A aplicação da cama de aviário nessas condições poderá causar problemas de toxicidade às culturas agrícolas.

Outro aspecto importante a ser considerado é que uma alta concentração de amônia é responsável por diminuir a decomposição da matéria orgânica, a produção de ácidos graxos voláteis e a metanogênese, uma vez que valores elevados de pH inibem a ação de enzimas catalíticas (KRYLOVA *et al.* 1997) e, somente após a diminuição do pH pela volatilização de amônia ou pela sua transformação em nitrato, é que poderá ocorrer uma maior produção de formas acidificadoras do pH.

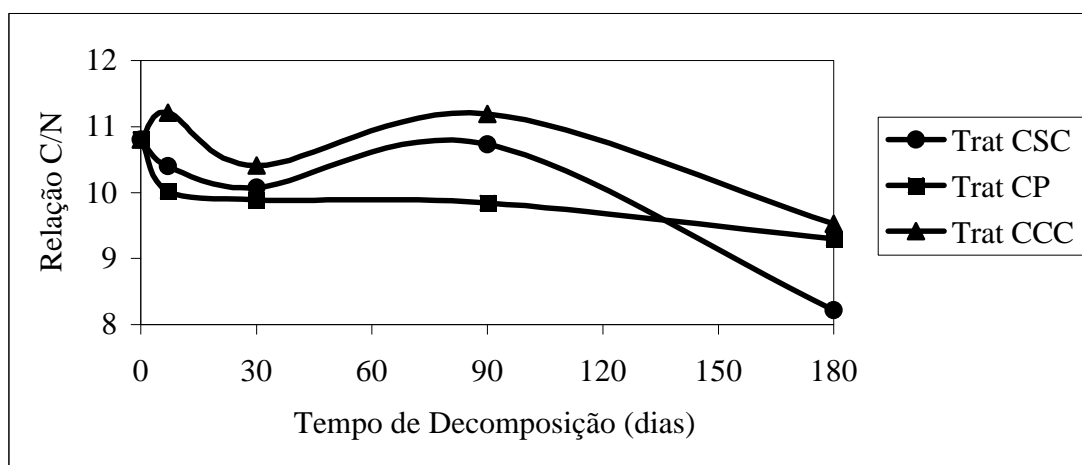
Uma evolução semelhante para valores de pH verificados neste trabalho foi obtida por BAKSHI e FONTENOT (1998). Estes autores mediram as concentrações de ácido acético e ácido lático em pilhas anaeróbias de cama de aviário (material amontoadado e coberto com polietileno) e verificaram que de valores iniciais insignificantes, estes ácidos aumentaram sua concentração significativamente quando uma nova medição foi feita na quarta semana de decomposição. Esta evolução foi acompanhada por uma mudança considerável de pH, tendo apresentado valores médios de 8,59 no início e diminuído para 6,89 na quarta semana de decomposição, mantendo-se às seis semanas.

A formação e liberação de amônia e de gás carbônico no primeiro mês de decomposição podem ser responsabilizadas pelas reduções verificadas nos teores de nitrogênio e carbono, principalmente para os tratamentos CCC e CSC, onde as reações de decomposição do material orgânico foram bem intensas (FIGURA 10).

O tratamento CSC apresentou as maiores reduções nas concentrações de nitrogênio (3,46 % no tempo zero e 2,28 % aos 180 dias), sendo significativamente menores a partir de 150 dias de decomposição. O mesmo ocorreu para os valores de carbono (37,44% no tempo zero e 18,69% aos 180 dias), sendo que diferenças significativas já foram verificadas a partir de sete dias de decomposição (TABELA 5). Além disso, este tratamento apresentou teores

destes dois elementos significativamente menores que o tratamento CP a partir de 30 dias de decomposição (FIGURA 10). Estas menores concentrações podem ser devido as maiores transformações do carbono e nitrogênio orgânico, disponibilizando maior quantidade de gás carbônico e amônia passível de ser perdido por volatilização. Neste caso, a maior decomposição do material seria devido a maior diversidade e quantidade de microorganismos inoculados através do solo. No entanto, pode ter contribuído o efeito de diluição provocado pelo solo que esteve presente, mesmo em pequena quantidade, nas amostras coletadas.

O tratamento CCC apresentou valores intermediários nas concentrações de nitrogênio e carbono e, apesar de ter havido diminuição nas concentrações destes dois elementos (3,46 % no tempo zero e 2,92 % aos 180 dias de decomposição e 37,44% no tempo zero e 27,8% aos 180 dias de decomposição, respectivamente), estas diferenças somente foram significativas para o carbono e aos 180 dias de decomposição (FIGURA 8). Uma maior aeração proporcionada pelo capim como cobertura das pilhas e como material intercalado nas pilhas para aumentar a intensidade das trocas gasosas pode ter aumentado a transformação e perda destes dois elementos.



- Média de seis valores.

- **Tratamentos:** CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e coberto com capim.

FIGURA 11 - EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO (C/N) DE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DE CAMA DE AVIÁRIO.

O principal fator que possibilitou ao tratamento CP menores perdas de carbono (37,44% no tempo zero e 34,96% aos 180 dias) e a manutenção de concentrações praticamente constantes de nitrogênio (3,46 % no tempo zero e 3,76 % aos 180 dias) foi certamente uma menor atividade biológica em relação aos outros tratamentos. Além disso, deve ter contribuído a menor diversidade de microorganismos, uma menor disponibilidade de oxigênio e substrato de fácil decomposição e, provavelmente, os microorganismos decompositores presentes neste tratamento sofreram uma ação deletéria maior devido à concentração mais elevada de salinomicina verificado neste tratamento (FIGURA 14). Este aspecto não podemos desconsiderar pois, de acordo com SOKOLIC e POKORNY (1991), a salinomicina possui um amplo espectro de ação biológica e pode ter tido inibido uma atividade biológica mais intensa deste grupo de microorganismos. JJEMBA (2002) cita diversas pesquisas onde foi constatada uma ação inibitória da biota do solo pela presença de antibióticos de uso veterinário.

Perdas de amônia e gás carbônico também podem ter sido reduzidas no tratamento CP pela cobertura com polietileno. Além de ser um impedimento físico de passagem dos gases das pilhas para a atmosfera, a umidade que condensou nas bordas das pilhas deste tratamento, de acordo com discussões de MOREIRA e SIQUEIRA (2002) e TEDESCO *et al.* (1996), pode reter o amônio e o gás carbônico formado.

Menores perdas de carbono e de nitrogênio devido a uma menor aeração de pilhas de cama de aviário em relação a pilhas com maior aeração foram verificadas por vários pesquisadores, entre eles AMON *et al.* (1997) e KIRCHMANN e LUNDVALL (1998).

Apesar de se constatar diferenças significativas nos teores de carbono e de nitrogênio entre os tratamentos já aos 30 dias, só observamos diferenças significativas nos valores de pH a partir das amostras coletadas aos 90 dias de decomposição (FIGURA 10). Os tratamentos CSC e CCC tiveram um perfil evolutivo bastante similar para o pH, com valores próximos do neutro (6,84 e 6,98, respectivamente) aos 180 dias de decomposição. Para o tratamento CP, na coleta feita aos 90 e aos 120 dias, os valores de pH foram significativamente mais ácidos do que os valores de pH dos tratamentos CSC e CCC, sendo que nas coletas aos 150 e 180 dias, diferenças significativas foram verificadas somente na comparação com o tratamento CCC. Para entender estas diferenças, precisamos considerar o efeito provocado pela diminuição da matéria seca nos tratamentos CSC e CCC (FIGURA 7 e TABELA 3). Um ambiente com alta

umidade cria uma condição de quase total anaerobiose e com isso condições mais apropriadas para a ação de bactérias metanogênicas. A formação e perda de metano para a atmosfera, que retira prótons H^+ da solução, pode ter permitido uma menor acidificação nestes dois tratamentos. Além deste aspecto, em condições anaeróbias o nitrato formado anteriormente pode ser utilizado por microorganismos anaeróbios como um receptor de elétrons e reduzir-se a amônio (NH_4^+) (redução dissimilatória), diminuindo a concentração de prótons hidrogênio.

Em pilhas de decomposição em que há predomínio de uma condição anaeróbia provocada por uma elevação da umidade, podem ocorrer perdas de nitrogênio através da desnitrificação, em que o nitrato é convertido nos gases óxido nitroso (N_2O), preferencialmente quando valores de pH estão acima de 7,0; e nitrogênio gasoso (N_2) para valores de pH abaixo de 6,0. Perdas poderão ocorrer também pela lixiviação do nitrato. Estas perdas podem ter acontecido mais intensamente nos tratamentos CSC e CCC, onde após o aumento da umidade das pilhas, a condição de anaerobiose deve ter predominado. No entanto, não houve variação nos teores de nitrogênio nestes tratamentos já a partir da primeira semana de decomposição (TABELA 5). De 150 a 180 dias até houve um aumento nos teores de nitrogênio, porém não significativo. Se houve perdas deste nutriente, elas não são possíveis de serem verificadas devido às perdas maiores de carbono na forma de metano neste período e, assim a concentração de nitrogênio se manteve relativamente nestes dois tratamentos.

Uma maior perda de carbono em relação ao nitrogênio nos 3 meses finais do experimento pode ser visualizada pela análise da evolução da relação carbono nitrogênio (C/N). A partir de 90 dias de decomposição a relação C/N diminui de 10,7 para 8,21 para o tratamento CSC e de 11,19 para 9,53 para o tratamento CCC (FIGURA 11).

Para o tratamento CP, apesar de também ter ocorrido um ambiente predominantemente anaeróbio, a baixa concentração de umidade não deve ter favorecido a ação de bactérias metanogênicas e, desse modo, ocorreram menores perdas de carbono pelo metano e prótons hidrogênio. Observações similares são discutidas por KRYLOVA *et al.* (1997) e LUCAS Jr. e SANTOS (2003). Além disso, a cobertura de polietileno pode ter impedido a perda de metano, como foi comprovado em WILLIAMS e NIGRO (1997) citado por NICHOLSON *et al.*, (2002).

A análise dos dados de nitrogênio e carbono não permite que façamos uma quantificação em valores absolutos das perdas destes dois elementos ocorridas nos três tratamentos. Assim, a diminuição das concentrações precisa ser relativizada. Para que

tivéssemos valores absolutos das perdas e daí quantificar com maior segurança qual a porcentagem desses elementos foi perdida da massa inicial de cama de aviário, precisaríamos ter instalado coletores que retessem os elementos perdidos.

2.3.4 ANÁLISE DE SALINOMICINA NA CAMA DE AVIÁRIO

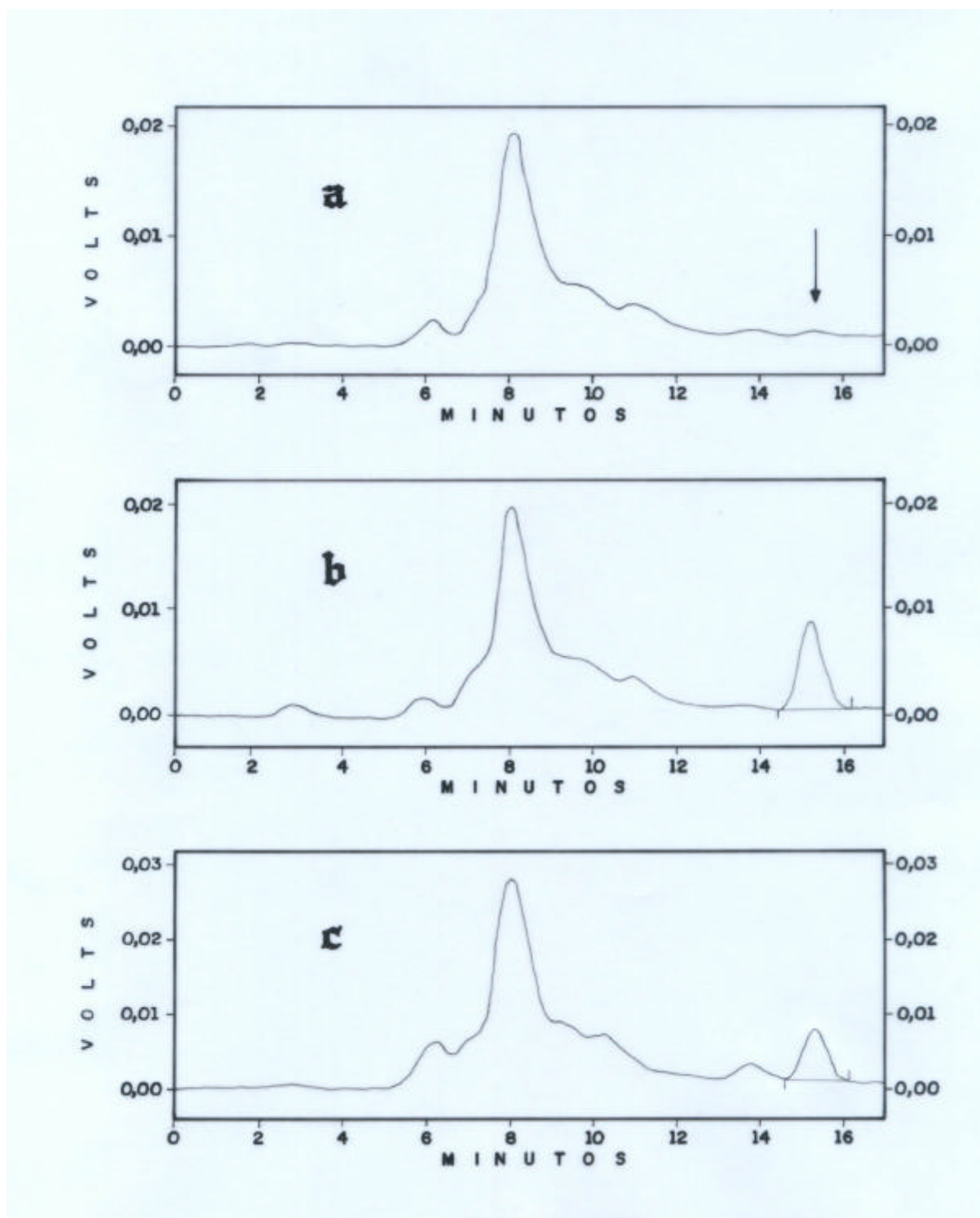
Nas condições cromatográficas empregadas, o pico da salinomicina apresentou-se estreito, simétrico e com tempo de retenção de aproximadamente 15,5 minutos. A FIGURA 11 apresenta exemplos de cromatogramas obtidos nestas condições para as amostras de cama de aviário livre de salinomicina (**a**), para uma amostra contaminada com 3,0 ppm de salinomicina (**b**) e uma amostra do tratamento CP com uma semana de decomposição cuja concentração encontrada foi de 2,9 ppm de salinomicina (**c**). Ainda pode ser observada nesta figura a ausência de picos interferentes que pudessem prejudicar a análise do fármaco.

A sensibilidade do método mostrou-se adequada e suficiente para o objetivo pretendido, pois o limite de detecção ($\text{sinal/ruído} = 3$) está em torno de 0,3 ppm e o limite de quantificação em torno de 0,6 ppm, de modo que é possível asseverar a quantificação de concentrações superiores a este valor.

O método que adaptamos e validamos para a análise de salinomicina, combina o uso de reagentes de fácil aquisição, de um pequeno volume de solvente extrator (8 ml) e de uma quantidade reduzida de amostra (1 g).

Os reagentes e solventes utilizados na validação do método apresentam as vantagens de terem baixo custo, fácil acesso, estabilidade à temperatura ambiente, baixa pressão de vapor, alto grau de pureza, baixa absorção de luz ultravioleta e baixa toxicidade.

De acordo com informações da literatura, outros ionóforos poliéteres como a monensina e a narasina formam cromóforos com a vanilina (GERHARDT *et al*, 1995). Assim, esta metodologia poderia ser aplicada também na quantificação destes compostos, que igualmente são de ampla utilização na medicina veterinária. Por outro lado, a lasalocida, também um ionóforo poliéter, não forma cromóforo com a vanilina, não sendo, portanto, detectável por esta metodologia.



(a) Amostra isenta de salinomicina; (b) Amostra contaminada com 3,0 ppm de salinomicina e (c) Amostra do tratamento CP com uma semana de decomposição (concentração encontrada: 2,9 ppm. Pico 1: salinomicina.

FIGURA 12 - CROMATOGRAMAS OBTIDOS POR CLAE NA ANÁLISE DE SALINOMICINA EM CAMA DE AVIÁRIO.

Durante o processo de padronização do método foram utilizados vários solventes extratores como: metanol, acetona, tolueno, acetato de etila, diclorometano com ou sem lavagem com solução saturada de acetato de amônia diluída 1:10, n-heptano, n-hexano, éter dietílico, iso-octano, acetonitrila e acetonitrila:dimetilformamida (50:50). A extração com acetona e acetonitrila apresentou os melhores resultados. Neste caso, para facilitar a limpeza das amostras, foi testada a adição de diferentes sais para “saturar” o solvente extrator. Assim, adicionou-se sulfato de sódio anidro e cloreto de potássio. O emprego destes sais, no entanto, não melhorou o resultado da extração. A acetona foi escolhida por ser mais barata e evaporar mais facilmente do que a acetonitrila.

Duas soluções de fase móvel com diferentes valores de pH foram testadas. A adição de ácido acético 0,15% em metanol (4:96) com pH 5,0 não demonstrou diferenças nas características cromatográficas em relação à adição de ácido acético 1,5% em metanol (4:96) com pH 3,75. A fase móvel com pH 5,0, por ser mais próximo da neutralidade, foi escolhida para prolongar a vida útil da coluna analítica.

A curva de calibração média obtida com a metodologia, a equação da reta ($y = ax + b$) e o coeficiente de regressão linear (r^2) para o padrão da salinomicina são ilustradas na FIGURA 12. As curvas de calibração calculadas por regressão linear apresentaram boa linearidade na faixa de concentração das soluções padrões utilizadas, sendo a média dos valores dos coeficientes de regressão linear (r^2) igual a 0,994.

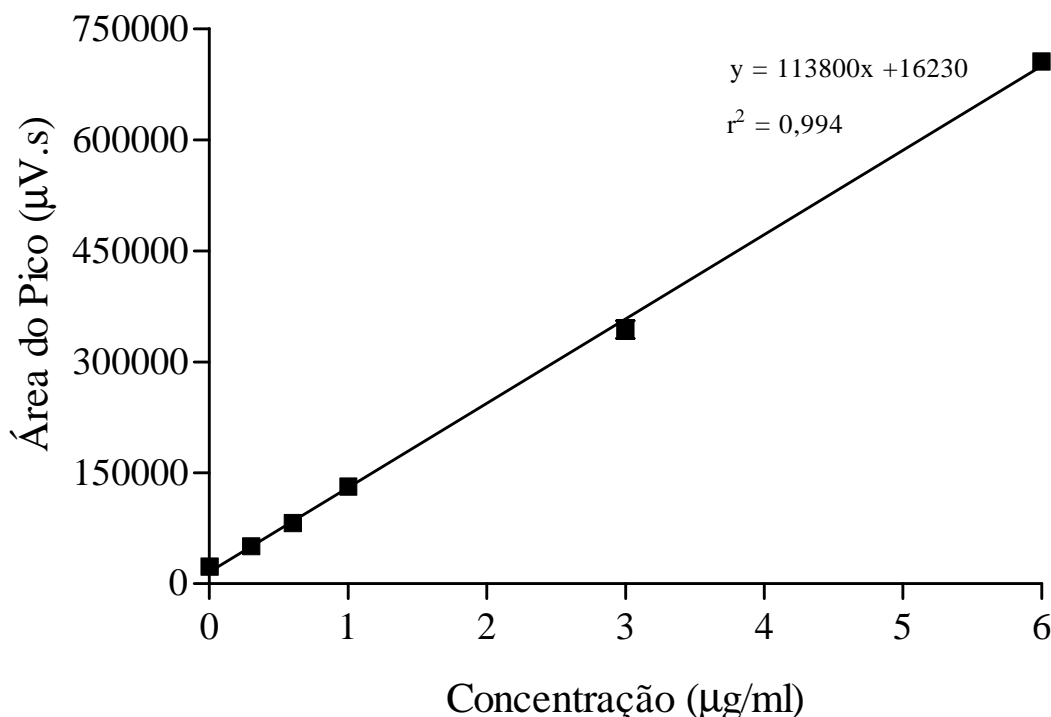


FIGURA 13 - CURVA DE CALIBRAÇÃO (MÉDIA \pm DESVIO PADRÃO) OBTIDA POR CLAE NA ANÁLISE DE SALINOMICINA EM CAMA DE AVIÁRIO.

A variabilidade do método cromatográfico, avaliada através do cálculo da precisão e da exatidão no inter-ensaio e no intra-ensaio, juntamente com os valores de recuperação do intra-ensaio, é mostrada nas TABELAS 6 e 7.

A variação do intra-ensaio, determinada pela análise de quatro alíquotas de soluções padrões de cama de frango contendo 0,5, 2,0 e 5,0 ppm de salinomicina, dentro de uma mesma corrida, originou valores médios de coeficiente de variação (CV) de 41,28; 9,49 e 4,31 %, respectivamente (TABELA 6). Já o CV do inter-ensaio foi de 24,53; 8,01; 10,19; 7,29 e 2,01, respectivamente para as concentrações de 0,3; 0,6; 1,0; 3,0 e 6,0 ppm (TABELA 7). Como pode ser observado nos dois ensaios, a variação é maior para as menores concentrações. Para as concentrações acima do limite de quantificação (0,6 ppm), todos os CVs estão abaixo de 15%. Em geral, este valor de variação é considerado o limite máximo aceito pelas normas das associações que regulamentam os procedimentos de química analítica (WIELING, *et al.* 1996).

Na TABELA 7 pode ser visualizado também o cálculo da exatidão do intra-ensaio que variou de 50 a 64%. Considerando-se a inclusão de todas as alíquotas das três

concentrações (0,5, 2,0 e 5,0 ppm), a média da exatidão foi de $55,43 \pm 11,18$ % (média \pm DP; TABELA 6). No entanto, a exatidão obtida no inter-ensaio variou de 98 a 129% para as concentrações de 0,3 a 6,0 ppm (TABELA 7). A diminuição nos valores da exatidão no intra-ensaio se deve a reduzida porcentagem de recuperação de salinomicina na matriz impregnada com este antibiótico. Neste aspecto, o procedimento de extração sólido-líquido no intra-ensaio assegurou recuperações médias de 58,49; 44,89 e 44,68 % de droga extraída da matriz contendo, respectivamente 0,5, 2,0 e 5,0 ppm de salinomicina. Nesta condição, a média geral de recuperação das três concentrações foi de $49,35 \pm 7,89$ % (média \pm DP) (TABELA 6). Embora se deva buscar valores de recuperação sempre próximos a 100%, o que representaria uma alta eficiência de extração, as recuperações como as encontradas neste procedimento são aceitáveis quando a precisão (CV) do ensaio está dentro dos limites permitidos, como visto na TABELA 6.

TABELA 6 - RESULTADOS DO INTRA-ENSAIO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA SALINOMICINA POR CLAE.

Concentração adicionada (ppm)	Concentração encontrada (ppm, n = 4) Média \pm DP	Precisão CV(%) Média	Exatidão (%) Média \pm DP	Recuperação (%) (n = 4) Média \pm DP
0,5	$0,32 \pm 0,13$	41,28	$64,05 \pm 26,44$	$58,49 \pm 17,08$
2,0	$1,04 \pm 0,10$	9,49	$51,92 \pm 4,93$	$44,89 \pm 4,79$
5,0	$2,52 \pm 0,11$	4,31	$50,32 \pm 2,17$	$44,68 \pm 1,81$
Média	-	-	$55,43 \pm 11,18$	$49,35 \pm 7,89$
5,0 + Solo	$2,29 \pm 0,08$	3,66	$45,88 \pm 1,68$	$40,86 \pm 2,07$

- DP = Desvio padrão, n = Número de amostras, CV = Coeficiente de variação, CV (%) = DP / Média x 100.

TABELA 7 - RESULTADOS DO INTER-ENSAIO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA SALINOMICINA POR CLAE.

Concentração adicionada (ppm)	Concentração encontrada (ppm, n = 5) Média ± DP	Precisão CV (%) Média	Exatidão(%) Média ± DP
0,3	0,39 ± 0,10	24,53	129,47 ± 31,76
0,6	0,66 ± 0,05	8,01	110,83 ± 8,87
1,0	1,13 ± 0,11	10,19	112,58 ± 11,47
3,0	2,93 ± 0,21	7,29	97,69 ± 7,13
6,0	6,07 ± 0,12	2,01	100,69 ± 1,74
Média ± DP	-	-	110,25 ± 12,19

- DP = Desvio padrão, n = Número de amostras, CV = Coeficiente de variação, CV (%) = DP / Média x 100.

2.3.4.1 Concentração de Salinomicina na cama de aviário

Os fatores que provavelmente interferiram nas diferenças dos parâmetros físicos e químicos para os três tratamentos, anteriormente discutidos, também podem ser usados para explicar as diferenças significativas na concentração de salinomicina nas amostras de cama de aviário.

O decréscimo significativo das concentrações de salinomicina constatado na primeira semana de decomposição para todos os tratamentos (TABELA 8 e FIGURA 14) pode ser associado às altas temperaturas, à intensa atividade biológica e à elevação do pH da cama registrado na fase inicial do experimento. A ação conjunta destes três fatores ficou mais evidente para os tratamentos CCC e CSC e podem explicar porque estes tratamentos apresentaram uma diminuição mais rápida nas concentrações de salinomicina do que o tratamento CP.

No tratamento CSC, a salinomicina foi detectada até 90 dias após o início da decomposição e após as concentrações se encontravam abaixo do limite quantificável pelo método (abaixo de 0,6 ppm). O fato de termos detectado a salinomicina em níveis menores aos detectados no tratamento CP, pode estar associado, além dos fatores anteriormente

citados, à adsorção desta molécula às partículas do solo, o que dificultou ainda mais a extração da substância pelo solvente utilizado (acetona). No intra-ensaio as amostras impregnadas com 5 ppm, nas quais foram adicionados 10% de solo, a média de recuperação (40,86%) foi um pouco menor que aquela encontrada em amostras com a mesma concentração sem a adição de solo (44,68%) (TABELA 6).

TABELA 8 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SALINOMICINA (ppm) EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

Tempo de decomposição (dias)	Tratamentos		
	CSC	CP	CCC
0	3,01 ± 0,62 a	3,01 ± 0,62 a	3,01 ± 0,62 a
7	0,77 ± 0,54 b	1,60 ± 0,59 b	0,18 ± 0,36 b
30	0,22 ± 0,44 b	1,08 ± 0,11 bc	NQ
90	0,21 ± 0,44 b	1,14 ± 0,21 bc	NQ
180	NQ	0,41 ± 0,48 c	NQ

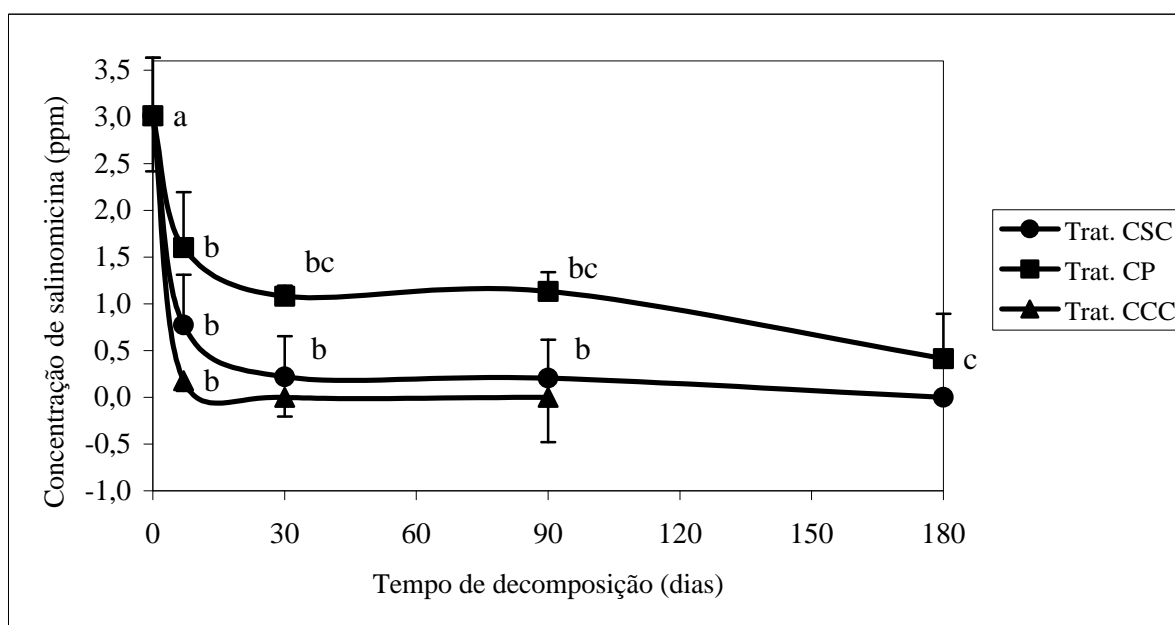
- **Tratamentos:** CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e coberto com capim;
 - Médias com letras iguais no sentido da coluna não diferem entre si ($P > 0,05$). Média de 4 repetições. NQ: não quantificável - todas as amostras abaixo do limite de quantificação do método (0,6 ppm); considerado como valor zero para cálculo da média.

O tratamento CP apresentou níveis quantificáveis de salinomicina até a coleta feita aos seis meses. Após uma significativa diminuição na concentração na primeira semana, os níveis foram diminuindo gradualmente até atingir níveis próximos do limite de quantificação aos 180 dias de decomposição.

É importante considerar que mesmo a concentração de salinomicina não sendo mais quantificável pela metodologia para todos os tratamentos, ela pode ter sido transformada quimicamente e, os metabólitos formados, poderiam ou não apresentar uma atividade antimicrobiana. A avaliação desta hipótese poderia ser investigada, entretanto necessitaria de procedimentos analíticos complexos e dispendiosos.

Os fatores que poderiam estar envolvidos na degradação da salinomicina em nossos tratamentos, entre eles a variação de temperatura, pH, umidade e a atividade microbiana, não podem ser considerados isoladamente, uma vez que experimentos com este objetivo ainda não foram realizados. A participação individual destes fatores poderia ser investigada através de

procedimentos relativamente simples. O conhecimento das causas que levam uma substância à decomposição, é muito importante, pois no caso da aplicação de cama de aviário no solo com alta concentração de salinomicina (sem decomposição, por exemplo) pode trazer um risco de poluição ambiental. Neste sentido, o papel da alta temperatura durante a decomposição seria essencial para a degradação da salinomicina, o que certamente não ocorreria se a cama fosse aplicada no solo sem ter sido submetida a um processo de decomposição. No solo a elevação da temperatura não ocorre na mesma magnitude que numa pilha de decomposição, e assim o antimicrobiano pode não ser decomposto.



- **Tratamentos:** CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; **Tratamento CP:** cama de aviário coberto com polietileno; **Tratamento CCC:** cama de aviário com capim e coberto com capim;
 - Letras diferentes na horizontal representam diferença significativa ($P > 0,05$) entre as médias (quatro repetições).

FIGURA 14 - EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SALINOMICINA (ppm) EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DE CAMA DE AVIÁRIO.

A presença de salinomicina e/ou seus metabólitos no solo pelo uso de cama de aviário apresenta no momento ainda consequências imprevisíveis sobre micro, meso e macroorganismos e fauna do solo e da água, principalmente se considerarmos o amplo espectro de ação biológica desse antibiótico. Por ser uma molécula apolar e apresentar uma

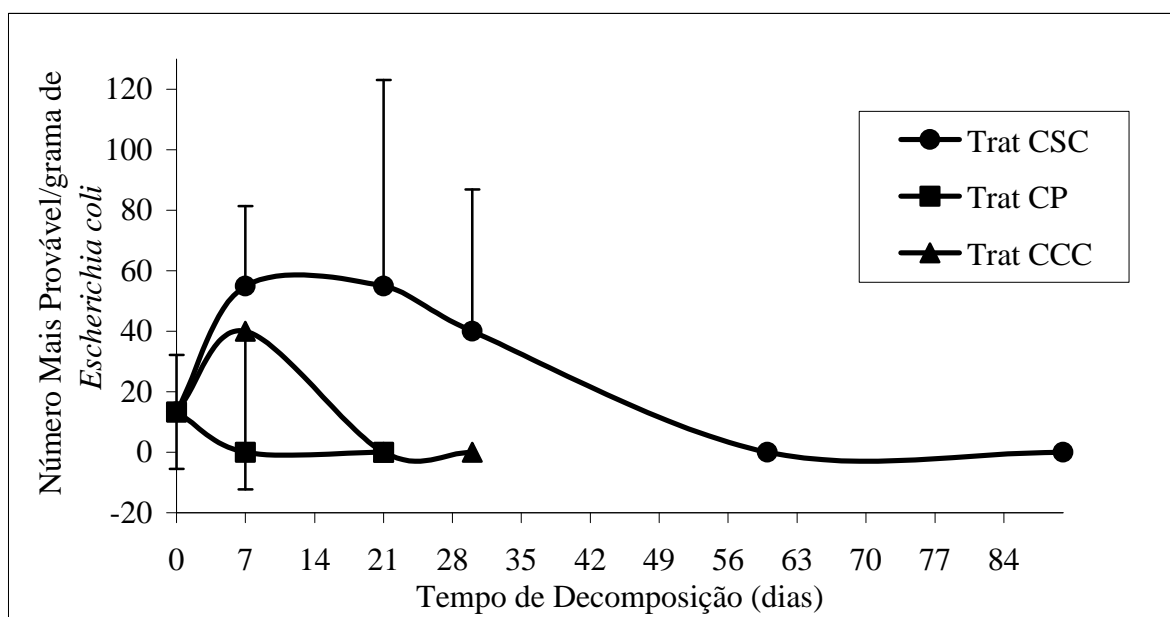
baixa solubilidade em água, um risco maior de contaminação estaria relacionado com o solo e águas superficiais.

A semelhança estrutural da molécula de salinomicina com outros antimicrobianos pertencentes ao grupo dos ionóforos poliéter, como a monensina, a narasina e a lasalocida, permite-nos acreditar que aconteça um comportamento de degradação dessas moléculas na cama de aviário semelhante ao verificado nos três tratamentos. A lasalocida também foi utilizada na ração dos frangos de corte que produziram a cama utilizada neste experimento e sua concentração ainda está sendo determinada nas amostras.

2.3.4 PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

A análise das amostras quando o experimento foi implantado (tempo zero) para a contagem de entero-patógenos demonstrou não haver contaminação da cama de aviário por *Salmonella* num nível detectável pela técnica. No entanto, foi detectada a presença de *Escherichia coli*, apesar de que o número mais provável (NMP) desta bactéria não ter sido muito elevado (13,33 bactérias por grama de cama de aviário) (FIGURA 15).

De acordo com BHATTACHARYA e TAYLOR (1975), o nível destes microorganismos na cama de aviário é bastante variável. Dependendo do manejo da cama, da eficiência e do período de retirada de aditivos da ração, do tipo de material absorvente usado no galpão e do número de lotes criados na mesma cama, a população de *Salmonella* e de *E. coli* pode variar de zero a números bastante elevados. O eficiente controle proporcionado pelos antimicrobianos utilizados como promotores de crescimento durante os seis lotes de criação de frangos (salinomicina, lasalocida, enramicina, olaquinox e avilamicina), assim como um conjunto de fatores que deve ter impossibilitado uma alta sobrevivência destes microorganismos na cama durante a criação dos seis lotes de frango, podem ter sido as causas da ausência de *Salmonella* e de uma pequena quantidade de *E. coli* nas amostras de cama de aviário.



- Média de quatro repetições;

- **Tratamentos:** CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e coberto com capim.

FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL DE *Escherichia coli* POR GRAMA DE TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

Parece não haver um efeito dos tratamentos sobre as diferenças do NMP de *E. coli*, o que pode ser decorrente da grande variabilidade dos resultados obtidos entre as repetições. Talvez a análise de um número maior de amostras por tratamento poderia ter diminuído o efeito da grande heterogeneidade naturalmente existente na cama de aviário.

A despeito disso, em todos os tratamentos não foi mais detectada a presença de *E. coli* após um mês de decomposição. O tratamento CP apresentou a mais rápida redução, sendo que na coleta feita após sete dias de decomposição não foi mais detectada a presença desta bactéria. A sua ausência foi verificada para o tratamento CCC na terceira semana de coleta. O tratamento CSC apresentou o maior tempo de sobrevivência. O maior tempo de sobrevivência neste tratamento pode ser devido à bactérias provenientes da camada próxima da superfície, onde as temperaturas verificadas foram um pouco menores e podem ter possibilitado uma redução mais lenta na população microbiana patogênica (FIGURA 14). Apesar de que o perfil de temperatura a 10 cm ser muito similar ao observado para o tratamento CP (FIGURA 6), o acúmulo de amônia próximo da superfície de contato com o polietileno, apresenta um forte

papel germicida, e pode ter contribuído na eliminação mais rápida de *E. coli* no tratamento CP.

Nos tratamentos CSC e CCC, na coleta realizada aos sete dias de decomposição, houve uma contagem maior de *E. coli* do que na coleta feita no início do experimento (55 e 40 NMP de bactérias/g, respectivamente). Este aumento, mesmo não significativo, pode ser devido à grande variabilidade existente entre as amostras. Apesar dessa possibilidade, alguns autores comentam que quando as condições ambientais são favoráveis, pode haver um recrescimento de bactérias entéricas em resíduos (EDWARDS e DANIEL, 1992). HAUG (1993) cita também que muitas bactérias de ocorrência natural, não patogênicas, também são destruídas nas condições de tempo e temperatura necessárias para destruir patógenos. Estas bactérias não patogênicas agem como competidoras com bactérias patogênicas e ajudam na sua eliminação e na prevenção de seu recrescimento. Este recrescimento citado pelo autor, torna-se grave principalmente se ocorrer quando a pilha já está fria, assim não havendo mais possibilidades de haver destruição destes microorganismos. Se houve um recrescimento nas condições deste experimento, isto ocorreu quando a temperatura ainda estava acima da necessária para eliminar tais organismos.

Quantidades bem superiores de *E. coli* foram encontradas em diversos trabalhos publicados. BAKSHI e FONTENOT (1998) registraram $1,55 \times 10^4$ bactérias por grama de cama e CASWELL (1978) verificaram 10^3 UFC/g. DAVIS (2002) e BAKSHI e FONTENOT (1998) obtiveram uma eliminação de *E. coli* em 1 mês de decomposição da cama de aviário. No entanto, SCHOCKEN-ITURRINO *et al.*, (1996) e JEFFREY *et al.* (1998) verificaram que um período muito curto de decomposição (42 dias e 28 dias, respectivamente) não foi suficiente para eliminar *E. coli*.

A adição de capim as pilhas de cama de aviário quando se verifica uma elevada população microbiana patogênica e níveis residuais elevados de antimicrobianos na cama, pode ser uma prática favorável para uma maior eliminação desses contaminantes devido a um período mais prolongado de altas temperaturas.

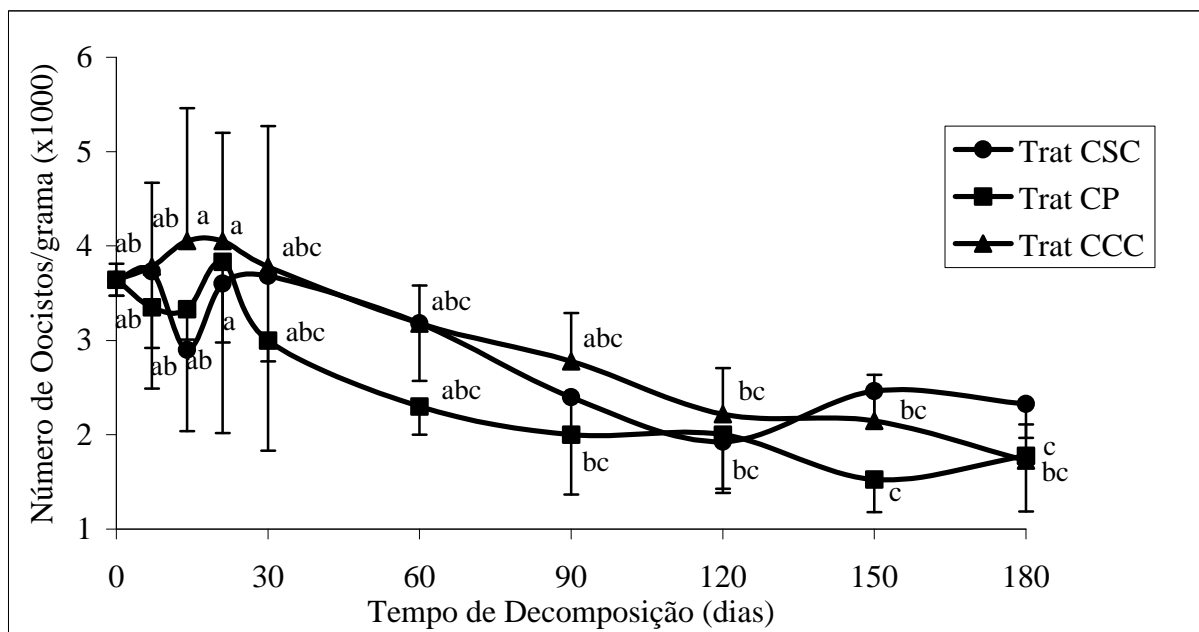
Além de bactérias entero-patogênicas, uma preocupação existe para a presença de oocistos de eimérias na cama de aviário. Para este grupo de protozoários, o número de oocistos no tempo zero apresentou valores elevados ($3,64 \times 10^3$ oocistos/grama de cama). Valores semelhantes foram obtidos por COSTA e ÁVILA (1996) após 4 lotes seguidos de criação de frangos.

O número de oocistos de eimérias não apresentou diferenças significativas entre os três tratamentos durante o período analisado (FIGURA 16). Mesmo após 180 dias de decomposição, o número de oocistos por grama de cama de aviário reduziu um pouco mais que 50% da contagem inicial ($1,94 \times 10^3$ oocistos/grama de cama em média para os três tratamentos aos 180 dias). Somente para o tratamento CCC houve uma redução significativa no número de oocistos na coleta feita aos 180 dias, apesar de que nesta coleta o número tenha sido muito semelhante ao tratamento CP ($1,73 \times 10^3$ e $1,78 \times 10^3$ oocistos em média, respectivamente).

Resultados semelhantes na contagem de oocistos em cama de aviário submetida a diferentes tratamentos de decomposição durante 12 dias, com e sem cobertura com polietileno, foram obtidos por COSTA e ÁVILA (1996). A decomposição da cama no trabalho destes autores, não mostrou uma tendência clara na redução da contagem do número de oocistos em relação aos tratamentos em que a cama foi apenas revirada.

Os dados para a contagem de oocistos de eimérias comprovam a alta resistência das estruturas reprodutivas deste protozoário fora do sistema digestivo das aves. Assim, a submissão da cama de aviário a um tratamento de decomposição durante os intervalos de lote, geralmente não maiores que duas semanas, com a finalidade de reduzir a quantidade de inóculo de eimérias para o ciclo de produção seguinte, não é uma medida muito eficiente.

REYNA *et al* (1983), no entanto, comentam que além da contagem do número de oocistos numa cama de aviário, é necessário um teste de viabilidade dessas estruturas para asseverar o verdadeiro grau de contaminação. Em seu trabalho, verificaram que a viabilidade de oocistos inoculados em cama de aviário e posteriormente fornecida a frangos de corte isentos deste protozoário, diminuía 95 e 100% após 6 e 15 dias, respectivamente. Apesar de que inúmeros fatores possam ter interferido nestes resultados, os autores comentam que a cama de aviário representa um substrato desfavorável a uma elevada sobrevivência dos oocistos. Isto seria devido ao efeito da amônia, das altas temperaturas e da baixa umidade, porém, estes fatores não teriam efeito nas estruturas dos oocistos.



- **Tratamentos:** CSC: cama de aviário com solo e coberto com capim; CP: cama de aviário coberto com polietileno; CCC: cama de aviário com capim e coberto com capim.
 - Letras diferentes na horizontal representam diferença significativa ($P > 0,05$) entre as médias (seis repetições).

FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE OOCISTOS DE EIMÉRIAS/GRAMA EM TRÊS TRATAMENTOS DE DECOMPOSIÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO.

Deverão ser realizadas pesquisas mais específicas nesta área para compreender melhor o comportamento destes protozoários em cama de aviário.

2.4 CONCLUSÕES

A partir do experimento realizado concluímos que:

- Dependendo do tipo de tratamento de decomposição adotado, pode-se interferir no potencial de contaminação ambiental da cama de aviário;
- O uso do processo de decomposição usualmente adotado pelos agricultores (amontoamento e cobertura com polietileno) apresenta menores perdas de carbono e nitrogênio, entretanto, é menos eficiente na degradação do antibiótico salinomicina;
- A adição de capim e/ou solo aumenta a velocidade das reações que degradam o material orgânico presente na cama de aviário, provocando maiores perdas de carbono e nitrogênio e uma maior degradação do antibiótico salinomicina;
- A adição do capim e o seu uso como cobertura mantém uma temperatura mais elevada durante a decomposição e, com o passar do tempo, permite uma maior infiltração de água que acarreta perdas posteriores de carbono;
- A decomposição da cama de aviário, independentemente dos tratamentos utilizados, é eficiente no controle de *Escherichia coli*. No entanto, a redução do número de oocistos de eimérias constatado não sofre interferência diferenciada entre os tipos de decomposição;
- A adaptação da técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) para a determinação de salinomicina em cama de aviário se apresentou de simples execução, foi suficientemente sensível, específica e reprodutível.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A partir da revisão bibliográfica e do trabalho experimental realizado, gostaríamos de comentar alguns aspectos relevantes e apresentar recomendações e perspectivas para orientar estudos nessa área.

A grande disponibilidade de cama de aviário em muitas regiões e as tendências do aumento de sua produção para os próximos anos exige que cada vez mais esforços sejam direcionados para a pesquisa e disseminação de técnicas que permitam o aproveitamento máximo de seu potencial como fertilizante e, ao mesmo tempo, reduzam a carga de elementos potencialmente causadores de contaminação ambiental.

O início da intensificação das criações de frangos de corte e a aplicação em larga escala dos resíduos gerados é ainda recente para as principais regiões agrícolas do Brasil. Isto contribui para que muitos dos efeitos adversos e a dimensão do problema ainda não sejam percebidos ou as nossas ferramentas de análise ainda não sejam suficientemente precisas para detectá-los.

Em países onde a criação intensiva de animais é mais antiga, parece não haver dúvidas entre os pesquisadores e órgãos governamentais que o uso excessivo da cama de aviário e em aplicações em longo prazo têm impactado os ecossistemas pela poluição por nutrientes, patógenos (muitos resistentes a antibióticos) e substâncias químicas. Estes impactos atualmente são considerados problemas de saúde pública. Além disso, a expansão das criações animais é limitada com cobrança pecuniária para quem não reduzir a produção de resíduos nas propriedades agrícolas.

Para evitar que daqui mais alguns anos também estejamos adotando tais medidas, desde já se faz necessário um planejamento da atividade avícola através do diálogo entre promotores de políticas públicas, empresas avícolas, agricultores e pesquisadores. A expansão da avicultura deve ser evitada em áreas que já estejam ambientalmente comprometidas, isto é, com uma produção já expressiva deste e de outros resíduos. A ampliação da avicultura numa propriedade agrícola só deve ser permitida com a observação da disponibilidade de área de cultivo para distribuir a cama de aviário dentro das recomendações de adubação, além de considerar a criação de outras espécies na propriedade. Quando o produtor não dispuser de área suficiente e depender de áreas de terceiros, deverá fazer acertos prévios com os agricultores que irão utilizar estes resíduos.

As pesquisas que visam estudar formas alternativas de utilização da cama de aviário, como a alimentação de ruminantes e geração de energia, entre outros, merecem receber uma atenção maior. Percebe-se que existem ainda muitas dúvidas com relação à viabilidade e eficiência destas alternativas, sendo talvez por isso, pouco adotadas.

Outro aspecto importante é o papel e a responsabilidade das empresas da avicultura industrial, pois suas ações influenciam diretamente na qualidade (potencial poluidor) da cama de aviário produzida numa região. A redução de nutrientes nas dejeções das aves pela formulação de rações mais equilibradas, com melhor digestão e absorção de nutrientes, a melhoria das condições do ambiente criatório (redução de fatores estressantes aos animais), a substituição de antimicrobianos por produtos alternativos (vacinas, probióticos, prebióticos e ácidos orgânicos, que são produtos que não deixam resíduos na carcaça e nas fezes) e o uso de substratos (cepilho) oriundos de madeiras que não sofreram tratamento químico para sua conservação, são outras medidas importantes para melhorar a qualidade e reduzir o volume de cama de aviário. Em relação a este último aspecto, dever-se-ia propor medidas legislativas que proibissem as empresas avícolas de usar material para cama oriundos de madeiras tratadas com produtos químicos.

Igual responsabilidade tem também o agricultor quanto ao manuseio adequado da cama de aviário tanto como fertilizante de suas lavouras, ou para quem mesmo ilegalmente a utiliza na alimentação de ruminantes. Antes de utilizá-la para estas finalidades, o seu tratamento através de uma decomposição é umas das práticas mais adequadas para melhorar a qualidade da cama de aviário e minimizar os seus efeitos adversos aos ecossistemas.

Nesse sentido, o trabalho experimental nos permitiu esclarecer algumas dúvidas com relação a esta prática, mas ao mesmo tempo, suscitou inúmeras outras questões durante e após a sua realização, as quais deverão ser investigadas futuramente.

Observamos que a cama de aviário, no momento em que os frangos são retirados, apresenta microorganismos patogênicos, substâncias utilizadas como antimicrobianos e provavelmente outros produtos como os utilizados no tratamento da madeira que serve como substrato. A aplicação de cama de aviário no solo nestas condições representa um potencial de contaminação muito maior em relação à cama de aviário que passou por um tratamento de decomposição. Apesar de não termos constatado a eliminação total de alguns contaminantes, como oocistos de eimérias e do antibiótico salinomicina, a prática da decomposição

representou uma medida de grande importância na redução do potencial poluidor deste resíduo.

O manejo de decomposição tradicionalmente adotado pelos agricultores (formação de pilhas e sua cobertura com polietileno) é um procedimento recomendável, pois alia praticidade na formação das pilhas, reduz a perda de nutrientes e permite diminuir significativamente o nível de patógenos e de compostos tóxicos como pudemos observar no caso da *Escherichia coli* e da salinomicina. No entanto, este período de decomposição não deve ser muito curto. Pela cama de aviário, tratamentos e condições utilizadas neste experimento, um período de no mínimo um mês seria necessário. Pesquisas futuras nessa área devem verificar a eficiência da decomposição para outros patógenos, como a *Salmonella*, e/ou quando o nível de contaminação por microorganismos entero-patogênicos for mais elevado, assim como investigar o efeito do processo de decomposição sobre a degradação de outros compostos tóxicos e seus metabólitos presentes na cama de aviário.

Em algumas situações, a adição de alguns elementos facilitadores pode aumentar os efeitos benéficos da decomposição da cama de aviário, como por exemplo, a cobertura das pilhas com capim e a adição de capim e solo intercalado nas pilhas. Por aumentarem a intensidade das reações de oxidação do material orgânico, estes facilitadores aceleram a eliminação de contaminantes presentes na cama de aviário. O maior inconveniente dessas adições à cama de aviário, é a diminuição da sua qualidade como fertilizante devido às maiores perdas de carbono e nitrogênio. Além disso, a necessidade de fazer a decomposição das pilhas em locais abrigados da chuva quando ela for demasiadamente prolongada e o maior labor despendido na formação das pilhas, são razões mais do que suficientes em desestimular a adição destes facilitadores pelos agricultores. Isto seria ainda mais verossímil quando há um grande volume de cama a ser decomposto nessas condições.

Assim, a adição desses materiais seria mais indicada quando a quantidade de cama a ser decomposta é menor, o nível de contaminação da cama de aviário é elevado ou quando houvesse a necessidade de decompor outros resíduos existentes na propriedade, como restos alimentares, palhas, frangos mortos. Acreditamos também que estes facilitadores permitem diminuir o risco de fitotoxidez da cama de aviário, o que poderia ser vantajoso na formulação de substrato para a produção de mudas ou na aplicação em cobertura de culturas mais sensíveis a estes efeitos.

Apesar dos benefícios que poderão ser obtidos com a decomposição, esta apenas diminui o potencial da cama de aviário em tornar-se um contaminante ambiental. Necessariamente a aplicação da cama de aviário deve respeitar as recomendações de adubação e deve seguir alguns cuidados, como evitar seu uso nas lavouras em épocas chuvosas e quando a área de cultivo não estiver vegetada para a utilização máxima dos nutrientes mineralizados.

Áreas com um longo histórico de aplicação de cama de aviário precisam ser monitoradas e avaliadas com relação ao nível de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, principalmente para os compostos farmacêuticos. Porém, para avançarmos nesse aspecto, precisamos ainda desenvolver técnicas e métodos capazes de detectar estes contaminantes em quantidades ambientalmente relevantes e em diferentes matrizes, desde solo, água e até mesmo nos alimentos que consumimos. No caso da avaliação de risco da utilização da cama de aviário na agricultura, precisamos conhecer e levar em conta os efeitos dos compostos químicos sobre todos os níveis da hierarquia biológica, desde células (possíveis mudanças no pool gênico de bactérias, conferindo-lhes resistência aos compostos) até toda a biosfera (contaminação das águas, por exemplo).

Acreditamos que nenhuma ação isolada irá solucionar o problema, sendo necessária à adoção de um conjunto de medidas que deverão ser reconhecidas e implementadas por todos os elos da cadeia produtiva. No momento, parece-nos que para muitos é ainda extremamente precoce pensar que estaremos impossibilitados de utilizar os mananciais aquíferos devido à elevados níveis de contaminantes, ou então que daqui a mais alguns anos estaremos também cobrando dos nossos agricultores taxas para recuperar os danos ambientais causados pelos resíduos gerados. É importante que este fato seja percebido de forma urgente tanto por agricultores, por empresas, pelo sistema produtivo como um todo, assim como pelas instituições governamentais, sob pena do agravamento da poluição ambiental.

REFERÊNCIAS

- ADDISON, J.B. Antibiotics in sediments and run-off waters from feedlots. *Residue Review*, p.1-28, 1984.
- AKHTAR, M.H.; EL-SOUD e AHEHATA, A.A. Concentrations of salinomycin in eggs and tissues of laying chickens fed medicated feed for 14 days followed by withdrawal for 3 days. *Food Additives and Contaminants*, v.13, n.8, p.897-907, 1996.
- ALMEIDA, C.A.S. *Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade dos Aquíferos Serra Geral e Guarani*. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- AMON, B.; BOXBERGER, J; AMON, T.H.; ZAUSSINGER, A. e PÖLLINGER A. Emission data of NH₃, CH₄ and N₂O from fattening bulls, milking cows and during different ways of storing solid manure. In: *Ammonia and Odour Emissions from Animal Production Facilities* (VOERMANS, J.A.M e MONTENEY, G. J. eds). Elsevier Applied Science, Londres, 1997. p.397–404.
- ANALYTICAL METHODS COMMITTEE. Determination of Olaquinox in Medicated Animal Feeds by High-performance Liquid Chromatography. *Analyst*, v.110, p.75-77, 1985.
- A.O.A.C. Association of Official Agricultural Chemists. *Official methods of analysis*. Washington D.C. 12 ed. 1970, 1094p.
- ANGELO, J.C., GONZALES, E.G., KONDO, N., ANZAI, N.H., CABRAL, M.M. Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.1, n.26, p.121-130, 1997.
- ANUALPEC. *Anuário da Pecuária Brasileira*. São Paulo: Argos Comunicação FNP, 2002. 447p.
- ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTURA ORGÂNICA, 2002. *Manual de Certificação*. Disponível em: <<http://www.aao.org.br/doc.htm>>. Acesso em: 13 outubro 2002.
- ASUKABE, H.; MURATA, H.; HARADA, K. e SUZUKI, M. Basic study on high-performance liquid chromatographic determination of four polyether antibiotics pre-derivatized with 1-bromoacetylpyrene. *Journal of Chromatography A*, v.657, p.349-356, 1993.
- ATKINSON, C.F.; JONES, D.D. e GAUTHIER, J.J. Biodegradability and Microbial Activities during composting of poultry litter. *Poultry Science*, v.75, p.608-617, 1996.
- AVES E OVOS. Visão do Mercado avícola. *Aves e Ovos*. Associação Paulista de Avicultura. SP. v.18, p.23, 2003.

BACKHAUS, T. e GRIMME, L.H. The toxicity of antibiotic agents to the luminescent bacterium *Vibrio fischeri*. *Chemosphere*, v.38, p.3291-3301, 1999.

BAGUER, A.J.; JENSENB, J. E KROGH. P.H. Effects of the antibiotics oxytetracycline and tylosin on soil Fauna. *Chemosphere*, v.40, p.751-757, 2000.

BAKSHI, M. P. S. e FONTENOT, J. P. Processing and nutritive evaluation of broiler litter as livestock feed. *Animal Feed Science and Technology*, v.74, n.4, p.337-345 1998.

BHATTACHARYA, A.N e TAYLOR, J.C. Recycling animal waste as a feedstuff: a review. *Journal of Animal Science*, v.41, n.5, p.1438-1457, 1975.

BELLAVER, C e PALHARES, C. P. Uma visão sustentável sobre a utilização da cama de aviário. *Avicultura Industrial*, n.06, p.14-18, 2003.

BITZER, C.A. e SIMS, J.T. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. *Journal of Environmental Quality*, v.17, n.1, p.139-147, 1988.

BRADEL, B.G.; PREIL, W. e JESKE, H. Remission of the free-branching pattern of *Euphorbia pulcherrima* by tetracycline treatment. *Journal of Phytopathology*, v.148, p.587-590, 2000.

BRASIL, INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 007, de 17/05/1999. Dispõe sobre normas para a produção de produtos orgânicos vegetais e animais. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/instnorm.htm>>. Acesso em: 20 outubro 2002.

BROWN, K.S.; JONES, S.G.e DONNELLY, K.C. The influence of simulated rainfall on residual bacteria and virus on grass treated with sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, v.9, n.2, p.261-264, 1980.

BURGESS, R.P.; CAREY, J.B. e SHAFER, D.J. The impact of pH on nitrogen retention in laboratory analysis of broiler litter. *Poultry Science*, v.77, p.1620-1622, 1998.

CABADAJ, R.; NAGY, J.; POPELKA, P.; MÁTÉ, D. e BUGARSKÝ, A. The determination of salinomycin residues in the tissues of broiler chickens by using microbiological diffusion methods *Slovenian Veterinary Research*, v. 39, n.2, p.37-43, 2002.

CAMPAGNOLO, E.R.; JOHNSON, K.R.; KARPATI, A.; RUBIN, C.S.; KOLPIN, D.W.; MEYER, M.T.; ESTEBAN, J.E.; CURRIER, R.W.; SMITH, K.; THU, K.M. e MCGEEHIN, M. Antimicrobial residues in animal waste and water resources proximal to large-scale swine and poultry feeding operations. *The Science of The Total Environment*, v.299, n.1-3, p.89-95, 2002.

CANTON, J.H. e VAN ESCH, G.J. The short-term toxicity of some feed additives to different freshwater organisms. *Bulletin Environmental Contaminant and Toxicology*, v.15, p.720-725, 1978.

CASTRO, L.C. *Caracterização hidrológica da microbacia do Lajeado dos Fragosos (oeste do Estado de Santa Catarina) e os efeitos do despejo de dejetos animais e resíduos domésticos sobre a população de larvas do borrachudo (Diptera: Simuliidae)*. Florianópolis, 1999. 110 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.

CASWELL, L.F.; FONTENOT, J.P. e WEBB Jr., K.E fermentation and utilization of broiler litter ensiled at different moisture levels. *Journal of Animal Science*, v.16, n.2, p.547-561, 1978.

CEREZO, J.L.G. e SANTOS, A.J. Avilamicina: la sustancia activa de un nuevo promotor de las producciones animales. *Separata de Medicina Veterinaria*. Barcelona, v.8, n.5, p.1-8, 1991.

CHILDE, V.G. *A evolução cultural do homem*. Rio de Janeiro, Zahar, 1966, 229p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. *Recomendação de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3ª ed. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul, 1998. 128p.

COMUNIDADE EUROPÉIA, Regulamento CEE/UE N° 94 del 14/01/1992. Disponível em: <http://www.bioagricert.org/Download/Reg94_92_paesiterzi.pdf>. Acesso em: 25 outubro 2002.

COSTA, C.A.F. e ÁVILA, V.S Efeito da idade das aves e da reutilização e manejo da cama do aviário sobre a coccidiose em frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.48, n.4, p.430-413, 1996.

CRANE, S.R.; WESTERMAN, P.W. e OVERCASH, M.R. Die-off of fecal indicator organism following land application of poultry manure. *Journal of Environmental Quality*, v.9, n.3, p.531-537, 1980.

D'AOUST, J. Y. e PIVNICK, H. Small infectious doses of *Salmonella*. *The Lancet*, v. 307, n.7964, 866, 1976.

DAVIS, J.R.; APPLE, J.K.; HELLWIG, D.H.; KEGLEY, E.B. e POHLMAN, F.W. The effects of feeding broiler litter on microbial contamination of beef carcasses. *Bioresource Technology*, v. 84, n.2, p.191-196, 2002.

DELGADO, A.A.; OLIVEIRA, M.D.S.;VIEIRA, P.F.; SAMPAIO, A.A.M.; LANÇANOVA, J.A.C. Avaliação da cama de frangos-maravalha contendo gesso agrícola. In: *Anais da XXXV Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. Botucatu/SP, v.4, p.294-295, 1998.

DEMOTES-MAINAIRD, F. M.; VINÇON, G. A.; JARRY, C. H. & ALBIN, H. C. Micro-method for the determination of roxithromycin in human plasma and urine by high-performance liquid chromatography using electrochemical detection. *Journal of Chromatography - Biomedical Applications*, v.490, p.115-123, 1989.

DIMENNA, G.P.; CREEGAN, J.A.; TURNBULL, L.B. e WRIGHT, G.J. Determination of sodium salinomycin in chicken skin/fat by high-performance liquid chromatography utilizing column switching and UV detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.34, n.5, p.805-810, 1986.

DRAKE, C. L.; McCLURE, W. H.; FONTENOT, J. P. Effect of level and kind of broiler litter for fattening steers. *Journal of Animal Science*, v.24, n.3, p.879, 1965.

EDWARDS, C.A. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, v.38, p.225-231, 2002.

EDWARDS, D. R. e DANIEL, T. C. Effects of poultry litter application rate and rainfall intensity on quality of runoff from fescue grass plots. *Journal of Environmental Quality*, v.22, p.361-365, 1993.

EDWARDS, D. R. e DANIEL, T. C. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal — A review. *Bioresource Technology*, v.41, p.9-33, 1992.

EMBRAPA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Fábio César da Silva (org.) Brasília: EMBRAPA, 1999, 376p.

FANELLI, M. J., W. W. SADLER, and J. R. BROWNELL. Preliminary studies on persistence of *Salmonella* in poultry litter. *Avian Diseases*, v.14, p.131-141, 1970.

FEJGLOVÁ, Z.; DODEZÄL, J.; HRDLICKA e FRGALOVÁ, K. Microbore HPLC determination of polyether antibiotics using postcolumn derivatization with benzaldehyde reagents. *Journal of Liquid Chromatography*, v.17, n.2, p.359-372, 1994.

FIALHO, E.T; ALBINO, L.F., THIRÉ, M.C. Avaliação química e digestibilidade dos nutrientes de alimentos, para suínos de diferentes pesos. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. v.13, n.3, p.360-374, 1984.

FUNDAGRO. *Normas técnicas de certificação de produtos orgânicos: hortaliças orgânicas*. Junho de 1999.12p.

GAST, R.K.; STEPHENS, J. e FOSTER, D. Effects of kanamycin administration to poultry on the proliferation of drug-resistance *Salmonella*. *Poultry Science*, v.67, p.689-698, 1988.

GIDDENS, J. e BARNETT, A.P. Soil loss and microbiological quality of runoff from land treated with poultry litter. *Journal of Environmental Quality*, v.9, n.3, p.518-520, 1980.

GERHARDT, G.C.; SALISBURY, C.D.C. e CAMPBELL, H.M. Determination of ionophores in the tissues of food animals by liquid chromatography. *Food Additives and Contaminants*, v.12, n.6, p.731-737, 1995.

GLÓRIA, N.A.; BARRETO, M.C.V.; MORAES, C.J. e MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Avaliação do gesso e de alguns fosfatos como inibidores da volatilização de amônia em esterco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, p.297-301, 1991.

GONÇALVES, O.C.L. *Uso e ocupação do solo na microbacia do Lajeado São José – Chapecó e seus reflexos na qualidade da água*. Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina.

HAAPAPURO, E.R.; BARNARD, N.D.; SIMON, M. Review –Animal waste use as livestock feed: dangerous to human health. *Preventive Medicine*, v.26, p.599-602, 1997.

HAGEDORN, C.; COY, M.C. e RAHE, T.M. The potential for ground water contamination from septic effluents. *Journal of Environmental Quality*, v.10, n.1, p.1-8, 1981.

HALLING-SØRENSEN, B.; NIELSEN, S.N.; LANZKY, P.F., INGERSLEV, F.; LÜTZHØFT, H.C. e JØRGENSEN, S.E. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment: a review. *Chemosphere*, v.36, n.2, 357-393, 1998.

HAUG, R.T. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton. 1993, 717p.

HCV/UFRGS. *Salmonelose*. 2002. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/hcv/salmonela.doc>>. Acesso em 27 setembro, 2002.

HENDRICKS, C.W. e MORRISON, S.M. Multiplication and growth of selected enteric bacteria in clear mountain stream water. *Water Research*. v.1, n.8-9, p.567-576, 1967.

HODGKINSON, R. A.; CHAMBERSA, A, B. J.; WITHERSB, P. J. A. e CROSSC, R. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. *Agricultural Water Management*, 57:155-173, 2002.

HUYSMAN, F. e VERSTRAETE, W. Water-facilitated transport of bacteria in unsaturated soil columns: influence of cell surface hydrophobicity and soil properties. *Soil Biology and Biochemistry*, v.25, n.1, p.83-90, 1993.

IBGE. *Anuário estatístico do Brasil*. Rio de Janeiro, 1997.

ICEPA (a). Avaliação do Valor Bruto da Produção Agropecuária nas Microrregiões Geográficas de Santa Catarina - 2000-2001. Disponível em: <http://www.icepa.com.br/Publicacoes/VBP.pdf>. Acesso em 01-02-2004.

ICEPA (b). Tabelas de produção – Abates Mensais de Aves, Suínos e Bovinos - Santa Catarina - 2002 e 2003. Disponível em: <http://www.icepa.com.br/>. Acesso em 01-02-2004.

ICEPA (c). Tabelas de produção – Brasil - Comparativo das Safras 2001, 2002 e 2003. Disponível em: <http://www.icepa.com.br/>. Acesso em 01-02-2004.

ICEPA. Santa Catarina: características e potenciais. Disponível em <www.icepa.com.br>. Acesso em: 13 outubro 2002.

IVANOV, I. E. Treatment of broiler litter with organic acids. *Research in Veterinary Science*, v.70, p.169-173, 2001.

JEFFREY, J.S.; KIRK, J.H.; ATWILL, E.R.; CULLOR, J.S. Prevalence of selected microbial pathogens in processed poultry waste used as dairy cattle feed. *Poultry Science*, v.77, p.801-811, 1998.

JJEMBA, P.K. The potential impact veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: a review. *Agricultural, Ecosystems & Environment*, v.93, n.3, p.267-278, 2002(a).

JJEMBA, P.K. The effect of chloroquine, quinacrine, and metronidazole on both soybean plants and soil microbiota. *Chemosphere*, v.46, n.7, p.1019-1025, 2002(b).

JOHNSTON, A.M. Food borne illness: veterinary sources of food borne illness. *The Lancet*, v.336, n.8719, p.856-858, 1990.

JONGBLOED e LENIS, Environmental concerns about animal manure. *Journal of Animal Science*, v.76, p.2641-2648. 1998.

JORGE, M.A; RESENDE, J.S. e OLIVEIRA, R.L. Estudo preliminar de *Escherichia coli* e *Staphylococcus* sp. na cama de galinha tratada com calcário dolomítico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.42, n.1, p.49-54, 1990.

KARNES, H.T.; WEI, A.T. e DIMENNA, G.O. HPLC analysis of salinomycin in human plasma using pre-column oxidation and automated heart cut column switching. *Journal of Pharmaceutical & Biomedical Analysis*, v.11, n.9, p. 823-827, 1993.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry disposal technology - a review. *Bioresource Technology*, v.83, p.27-36, 2002.

KELLEY, T.R.; PANCORBO, O.C.; MERKA, W.C. e BARNHARTS, H.M. Antibiotic resistance of bacterial litter isolates. *Poultry Science*, v.77, p.243-247, 1998

KIEHL, E. J. *Fertilizantes Orgânicos*/Edmar José Kiehl. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KINGERY, W.L.; WOOD, C.W.; DELANEY, D.P.; WILLIAMS, J.C.; MULLINS, G.L. e VANSANTEN, E. Implications of long-term land application of poultry litter on tall fescue pastures. *Journal of Production Agriculture*, v.6, n.3, p.390-395, 1993.

KINGERY, W.L.; WOOD, C.W.; DELANEY, D.P.; WILLIAMS, J.C. e MULLINS, G.L. Impact of long-term land application of broiler litter on environmental related soil properties. *Journal Environmental Quality*, v.23, p.139-147, 1994.

KIRCHMANN, H. e LUNDVALL, A. Treatment of solid animal manures: Identification of low NH₃ emission practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.51, n.1, p.65-71, 1998.

KIRCHMANN, H. e WITTER, E. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. *Plant and Soil*, v.115, p.35-41, 1989.

KITHOME, J.W.; PAUL, J.W. e BOMKE, A.A. Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments. *Journal of Environmental Quality*, v.28, p.194-201, 1999.

KRYLOVA, N. I.; KHABIBOULLINE, R. E.; NAUMOVA, R. P.; NAGLE, M. The influence of ammonium and methods for removal during the anaerobic treatment of poultry manure. *Journal of Chemical Technology Biotechnology*, n.70, p.99- 105, 1997.

LAU, C. E.; DOLAN, S. e TANG, M. Microsample determination of diazepam and its three metabolites in serum by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography - Biomedical Applications*, v.416, p.212-218, 1987.

LIEBHARDT, W.C.; GOLT, C; e TUPIN, J. Nitrate and ammonium concentrations of ground water resulting of poultry manure applications. *Journal of Environmental Quality*, v.8, p.211-215, 1979.

LONG, P. L.; ROWELL, J. G. Counting oocysts of chicken Coccidia. *Laboratory Practice*, n.7, p.515-534.1958.

LUCAS Jr., J e SANTOS, T.M.B Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. In: *Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola*, 12 de abril de 2000 – Concórdia, SC Disponível em: http://suave.cnpsa.embrapa.br/publicacoes/anais/anais65_lucas.pdf. Acesso em: 15-01-2003.

MacGREGOR, S.T.; MILLER, F.C.; PSARIANOS, K.M. e FINSTEIN, M.S. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Applied Environmental Microbiology*, v.41, p.1321-1330, 1981.

MACHADO, J. S. Produção de Carnes: Abates Mensais de Aves, Suínos e Bovinos - Santa Catarina - 2001 e 2002. ICEPA 2002. Disponível em: <www.icepa.com.br>. Acesso em 01 outubro 2002.

MAWDSLEY, J.L.; BARDGETT, R.D.; MERRY, R.J.; PAIN; B.F. e THEODOROU, M.K. Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution. *Applied Soil Ecology*, v.2, p.1-15, 1995.

McCASKEY, T.A. e ANTHONY, W.B. Human and animal health aspects of feeding livestock excreta. *Journal of Animal Science*, v.48, n.1, p.163-201,1979.

McKINLEY, V. L.; VESTAL, J. R. Effects of different temperature regimes on microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Canadian Journal of Microbiology*, n.31, 1985, p. 919-925.

MCLEOD, R.V. e HEGG, R.O. Pasture runoff quality from application of inorganic and organic nitrogen sources. *Journal of Environmental Quality*, v.12, n.1 p.122-126, 1984.

MELLO, W.Z. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Pollution*, v.114, n.2, p.235-242, 2001.

MIGLIORE, L.; CIVITAREALE, C.; BRAMBILLA, G. COZZOLINO, S. CASORIA, P. e GAUDIO, L. Effects of sulphadimethoxine on cosmopolitan weeds (*Amaranthus retroflexus* L., *Plantago major* L. e *Rumex acetosella* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.65, n.2, p.163-168, 1997 (a).

MIGLIORE, L.; CIVITAREALE, S.; BRAMBILLA, G. e DOJMI DI DELUPIS, G. Toxicity of several important agricultural antibiotics to *Artemia*. *Water Research*, v.31, p.1801-1806, 1997 (b).

MIGLIORE, L.; CIVITAREALE, C.; COZZOLINO, S.; CASORIA, P.; BRAMBILLA, G. e GAUDIO, L. Laboratory models to evaluate phytotoxicity of sulphadimethoxine on terrestrial plants. *Chemosphere*, v. 37, p.2957-2961, 1998.

MILLER, F.C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: METTING Jr., B (editor). *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*. New York, 1992, p.515-544.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. *Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal*. Brasília: MAA, 1998, 246p.

MOORE, P.A.; DANIEL, T.C.; EDWARDS, D.R. e MILLER, D.M. Effect of chemical amendments on ammonia volatilization from poultry litter. *Journal of Environmental Quality*, v.24, p.293-300, 1995.

MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do solo*. Lavras, Editora UFLA, 2002, 626p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Minimizing nutrient excretion. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of swine*. 10ed. Washington: National Academic Press, p.103-106, 1998.

NCSU, *Poultry manure as a fertilizer source*. Biological and Agricultural Engineering Department, North Carolina State University. Disponível em: <http://ces.soil.ncsu.edu/soilscience/publications/soilfacts/AV-439-05/body.htm>. Acesso em: 15-09-2003.

NEME, R.; SAKOMURA, N.K.; OLIVEIRA, M.D.S.; LONGO, F.A. e FIGUEIREDO, A.N. Adição de gesso agrícola em três tipos de cama de aviário na fixação de nitrogênio e no desempenho de frangos de corte. *Ciência Rural*, v.30, n.4, p.687-692, 2000.

NICHOLSON, R.J.N; WEBB, J. e MOORE, A. A review of the environmental effects of different livestock manure storage systems, and a suggested procedure for assigning environmental ratings. *Biosystems Engineering*, v.81, n.4, p.363-377, 2002.

OLESIUK, O.M.; SNOEYENBOS, G.H. e SMYSER, C.F. Inhibitory effect of used litter on *Salmonella typhimurium* transmission in the chicken. *Avian Diseases*, v.15, p.118-124, 1971.

OLIVEIRA, M. D. S. *Utilização da cama de frangos na alimentação de bovinos*/Mauro Dal Secco de Oliveira. Jaboticabal: FUNEP, 1997. 47p.

OLIVEIRA, M. D. S. *Utilização das dejeções de galinhas poedeiras na alimentação de bovinos* /Mauro Dal Secco de Oliveira. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 38p.

OLIVEIRA, M.C, ALMEIDA, C.V, ANDRADE, D.O. e RODRIGUES, S.M.M. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.4, p.951-954, 2003.

OLIVEIRA, P.A.V., coord. *Manual de manejo e utilização dos dejetos e suínos*. Concórdia: EMBRAPA-CNPASA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPASA. Documentos, 27).

ORTOLANI, E. L.; BRITO, L. A. B. Enfermidades Causadas pelo uso Inadequado de "Cama-de-frango" na Alimentação de Ruminantes. *Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária*. - Suplemento Técnico, n.22, 2001.

PAIK, I.K. Strategies to reduce environmental pollution from animal manure: Nutritional management option – Review. *Australasian Journal of Animal Sciences*, v.12, n.4, p.657-666, 1999.b

PASTORI, A.M.; ANDRADE, P.; SAMPAIO, A.A.M.; ROSA, L.A.; ANDRADE, A.I.; OLIVEIRA, M.D.S. Valor nutritivo de ração contendo cana-de-açúcar , cama-de-frango e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.21, n.2, p.211-214, 1986.

PROCHNOW, L.I.; CUNHA, C.F. KIEHL, J.C. e ALCARDE, J.C. Controle da volatilização de amônia em compostagem, mediante adição de gesso agrícola e superfosfatos com diferentes níveis de acidez residual. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.65-70, 2001.

RABØLLE, M. e SPLIID, N.H. Sorption and mobility of metronidazole, olaquinox, oxytetracycline and tylosin in soil. *Chemosphere*, v.40, p.715-722, 2000.

REDDY, K.R.; KHALEEL, R. e OVERCASH, M.R. Behavior and transport of microbial pathogens and indicator organisms in soils treated with organic wastes. *Journal of Environmental Quality*, v.10, n.3, p.255-266, 1981.

REYNA, P.S.; McDOUGALD, L.R.e MATHIS, G.F. Survival of coccidia in poultry litter and reservoirs of infection. *Avian Diseases*, v.27, p.464-473, 1983.

RITTER, W.F. e CHIRNSIDE, A.E.M. Influence of Agricultural Practices on Nitrates of the Water Table Aquifer. *Biological Wastes*, v.19, p.165-178, 1987.

SAMPAIO, M.A.P.M.; SCHOCKEN-ITURRINO, R.P.; SAMPAIO, A.A.M.; BERCHIELLI, S.C.P. e BIONDI, A. Estudo da população microbiana e da liberação de amônia da cama de frangos tratada com gesso agrícola. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.15, n.6, p.559-564, 1999.

SANTOS, I.I. *Promotores de crescimento na alimentação de frangos de corte: desempenho zootécnico e análise de resíduos (antimicrobianos) na cama de aviário*. Florianópolis, 2002. 78p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHLUSENER, M.P.; SPITELLER, M. E BESTER, K. Determination of antibiotics from soil by pressurized liquid extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, v.1003, p.21–28, 2003.

SCHOCKEN-ITURRINO, R.P.; SAMPAIO, A.A.M.; SAMPAIO, M.A.P.M.; BERCHIERI JR.; A., BERCHIELLI, S.C.P. Microbiological analyses of poultry litter used for ruminant feed. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. v.4, n.48, p.435-443, 1996.

SCHRODER, H. Nitrogen losses from Danish agriculture – trends and consequences. *Agriculture, Ecosystems and Environmental*, v.14, p.279-289, 1985.

SEGANFREDO, M.A. *A aplicação do princípio do balanço de nutrientes, no planejamento do uso de dejetos de animais para adubação orgânica*. Concórdia:EMBRAPA-CNPASA, 2001. 5 p. (EMBRAPA-CNPASA. Comunicado Técnico, 291).Disponível em <http://www.cnpasa.embrapa.br/> - Publicações, Comunicados Técnicos.

SENTELHAS, P.C.; BORSATTO, R.S. e MINAMI, K. Transmissividade da radiação solar em estufas cobertas com filmes de PVC azul e transparente. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.2, p.157-162, 1999.

SINIGO, J. e GACNIK, K. Analysis of polyether antibiotics (salinomycin, monensin, lasalocid) in eggs. *Slovenian Veterinary Research*, v.38, n.2, p.141-150, 2001.

SILVA, N. & JUNQUEIRA, V.C.A. *Métodos de análise microbiológica de alimentos*. Campinas: ITAL, 1995. 228 p.

SIMS, J.T. Nitrogen transformations in a poultry manure amended soil: temperature and moisture effects. *Journal of Environmental Quality*, v.15, n.1, p.59-63, 1986.

SIQUEIRA, R. S. *Manual de microbiologia de alimentos*. Brasília: EMBRAPA, 1995. 159 p.

SMITH, M.S; THOMAS, G.W.; WHITE, R.E.e RITONGA, D. Transport of *Escherichia coli* through intact and disturbed soil columns. *Journal of Environmental Quality*, v.14, n.1, p.87-91, 1985.

SOKOLIC, M. e POKORNY, M. Comparative determination of salinomycin by high-liquid chromatography, microbiological and colorimetric methods in testing production process and animal feed preparations. *Journal of Chromatography & Pharmaceutical Analysis*, v.9, n.10-12, p.1047-1053, 1991.

SOUZA, E. C. Uma guerra quase perdida. *Ciência Hoje*. p.27-35, 1998.

TALAMINI, D. *Avicultura em 2001*. Anuário 2002 da avicultura industrial, p.14, 2002.

TAYLOR, J.C. e GEYER, R.E. Regulatory considerations in the use of animal waste as feed ingredients. *Journal of Animal Science*, v.48, n.1, p.218-222, 1979.

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. e CAMARGO, F.A.O. Resíduos Orgânicos no Solo e os Impactos no Ambiente. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (editores). *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.159-196

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, UFRGS, 188p., 1985 (Boletim Técnico de Solos, nº5).

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry*, v.37, n.8, p.869-880, 2002.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. Changes in chemical properties during composting spent litter at different moisture contents. *Agricultural, Ecosystems and Environment*, v.67, p. 688-694, 1998.

TOLLS, J. Sorption of veterinary pharmaceuticals in soils: a review. *Environmental Science and Technology*, v.35, n.17, p.3397-3406, 2001.

TURPIN, P.E; MAYCROFT, K.A.; ROWLANDS, C.L. e WELLINGTON, F.M.H. Viable but not-culturable salmonellas in soil. *Journal of Applied Bacteriology*, v.74, p. 421-427, 1993.

VAN DER KOP P.A., MACNEIL J.D. Separation and detection of monensin, lasalocid and salinomycin by thin - layer chromatography/bioautography. *Journal of Chromatography*, v.508, p.386-90, 1990.

WARMAN, P.R. e THOMAS, R.L. Chlortetracycline in soil amended with poultry manure. *Canadian Journal of Soil Science*, v.61, p.161-163, 1981.

WEBB, K.E. e FONTENOT, J.P. Medical drug residues in broiler litter and tissues from cattle fed litter. *Journal of Animal Science*, v.41, n.4, p.1212-1217, 1975.

WOLLENBERGER, L.; B. HALLING-SØRENSEN, B. e KUSK, K.O. Acute and chronic toxicity of veterinary antibiotics to *Daphnia magna*. *Chemosphere*, v.40, 723-730, 2002

WIEST, J. M. Saneamento no meio rural. I. Sistema “a campo” de tratamento de biomassas Sólidas. *Arquivos da Faculdade de Veterinária da UFRGS*, v.8, p.49-54, 1980 (a).

WIEST, J. M. Saneamento no meio rural. II. Câmaras molduladas para biodegradação de dejetos animais e de lixo. *Arquivos da Faculdade de Veterinária da UFRGS*, v.8, p.49-54, 1980 (b).

WIELING, J.; HENDRIKS, G.; TAMMINGA, W.J.; HEMPENIUS, J. MENSINK, C.K.; OOSTERHUIS, B. e JONKMAN, J.H.G.. Rational experimental design for bioanalytical methods validation. Illustration using an assay method for total captopril in plasma. *Journal of Chromatography A*, v.730, p.381-394, 1996.

WITTER, E. e LOPEZ-REAL, J. Nitrogen losses during the composting of sewage sludge, and the effectiveness of clay soil, zeolite, and compost in adsorbing the volatilized ammonia. *Biological Wastes*, v.23, p.279-294, 1988.

WYATT, C.L. e GOODMAN, T.N. The utilization of recycled sheetrock (refined gypsum) as a litter material for boiler houses. *Poultry Science*, v.71, p.1572-1576, 1992.

ZANELLA, I. Suplementação enzimática em rações avícolas. In: *Anais do Pré-simpósio de Nutrição Animal: suínos e aves*. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2001. p37-49.

ANEXOS

**(a)****(b)****(c)**

(a) Vista geral das pilhas experimentais; (b) Sensores instalados nas pilhas; (c) Coleta de amostras; (d) Detalhe da condensação de água debaixo da lâmina de polietileno no tratamento CP. Fotos do autor.

FIGURA 17 – IMAGENS DA PARTE EXPERIMENTAL A CAMPO.